

riekswaterstaat

st getijdewateren

110

otheek

910

W/KUNDIG  
M 1974

# MODEL VAN DE KUST EN HET SCHELDEESTUARIUM

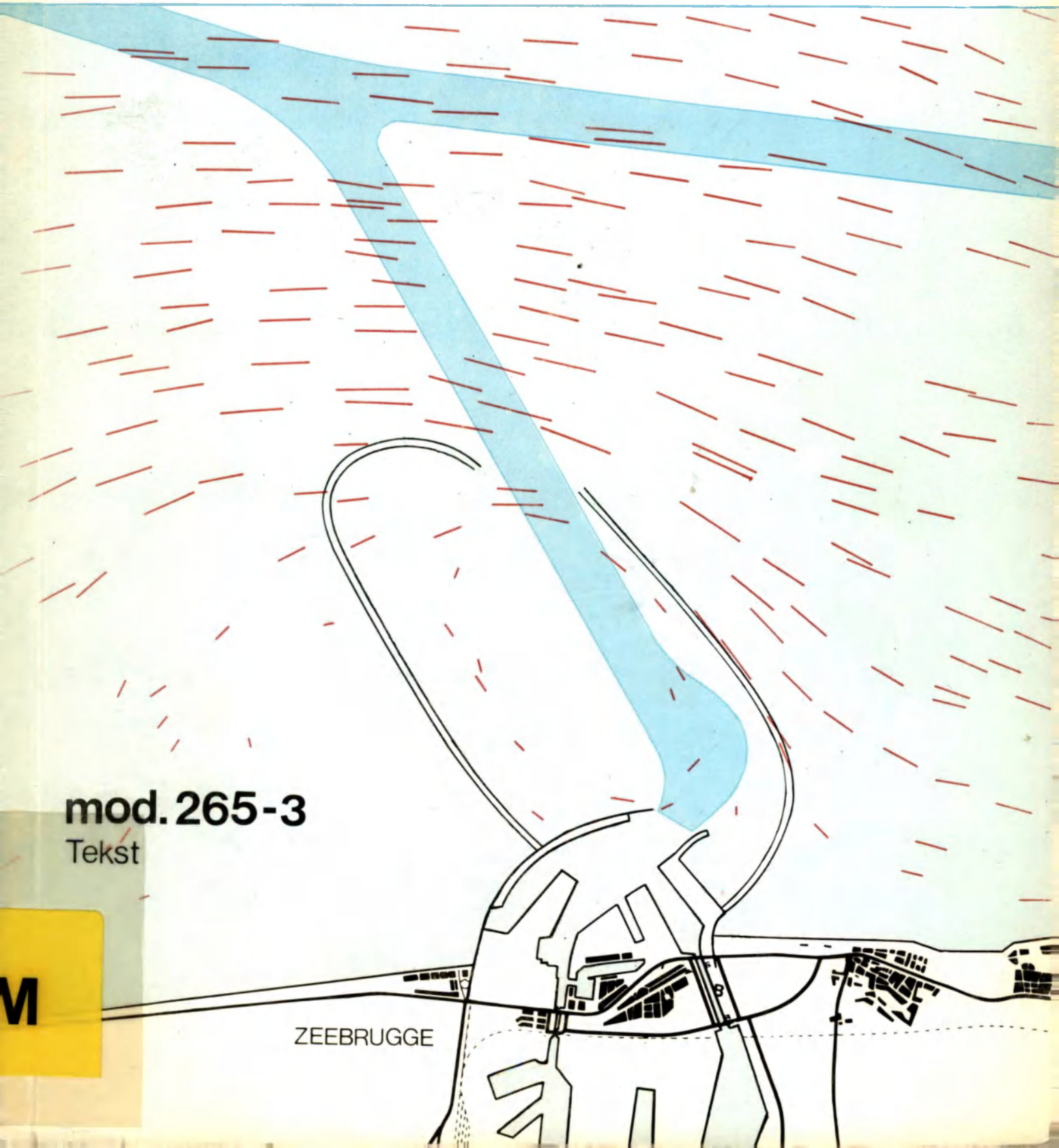
## MODELPROEVEN 1<sup>e</sup> VERSLAG

mod. 265-3

Tekst

ZEEBRUGGE

M



VLIZ (vzw)  
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE  
FLANDERS MARINE INSTITUTE  
Oostende - Belgium

**WATERBOUWKUNDIG    LABORATORIUM**  
**borgerhout - antwerpen**

69422

MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN  
BRUGGEN EN WEGEN  
BESTUUR DER WATERWEGEN





VLIZ (vzw)  
VLAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE  
FLANDERS MARINE INSTITUTE  
Oostende - Belgium

MODEL VAN DE KUST EN HET  
SCHELDEESTUARIUM.  
MODELPROEVEN 1e VERSLAG.

MOD. 265-3.

TEKST.



## INHOUDSTAFEL.

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

1. OPDRACHTOMSCHRIJVING EN INLEIDING.	1
2. UITGEVOERDE METINGEN BIJ DE VERSCHILLENDE ONDERZOCHE TOESTANDEN.	1
3. ONDERZOEK IN GLOBO.	2
3.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.	2
3.2. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.	3
3.2.1. Snelheidsverloop in de onmiddellijke nabijheid van de vbbrrhaven.	3
3.2.2. Wijzigingen in de stromingen langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge en in de vaarpassen.	4
3.2.2.1. Snelheden.	4
3.2.2.2. Snelheidsrichtingen.	9
3.3. Vaststellingen op nautisch gebied.	9
3.3.1. Theoretische benadering.	9
3.3.2. Beschouwingen in verband met het praktische invaarma- noeuvre.	13
3.3.2.1. Manoeuvres en voorzieningen bij het binnen- brengen van tankers in de huidige voorhaven van Zeebrugge.	13
3.3.2.2. Manoeuvres en voorzieningen bij het binnen- brengen van tankers in de nieuwe toestand.	15
3.4. Conclusies.	16
4. ONDERZOEK MET GELEIDELIJK OVERSTROOMBARE HAVENDAMMEN.	18
4.1. Detailonderzoek van het lengteprofiel van de havendammen.	18
4.1.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.	18
4.1.2. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.	19
4.1.2.1. Snelheidsverloop in de onmiddellijke nabijheid van de vbbrrhaven.	19
4.1.2.2. Wijzigingen in de snelheidsgrootte langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge en in de vaarpassen.	21
4.1.2.3. Wijzigingen in de snelheidsrichtingen langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge en in de vaarpassen.	25



4.1.3. Vaststellingen op nautisch gebied.	25
4.1.4. Conclusies.	27
4.2. Invloed van de uitdieping van de vaargeulen.	28
4.2.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.	28
4.2.2. Vaststellingen bij de ontwerpen T14 en T15.	29
4.2.2.1. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.	29
4.2.2.2. Vaststellingen op nautisch gebied.	32
4.2.3. Vaststellingen bij de ontwerpen T16 en T17.	33
4.2.3.1. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.	33
4.2.3.2. Vaststellingen op nautisch gebied.	35
4.2.4. Conclusies.	36
4.3. Invloed van de strandverdediging.	37
4.3.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.	37
4.3.2. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.	38
4.3.3. Vaststellingen op nautisch gebied.	39
4.3.4. Conclusies.	40
4.4. Invloed van de uitdieping van de vaargeulen zonder uitbouw van de havendammen.	41
4.4.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.	41
4.4.2. Vaststellingen bij de uitgevoerde proeven.	41
4.4.3. Conclusies.	42
5. ENKELE BESCHOUWINGEN IN VERBAND MET DE MOGELIJKE MATERIAALVERPLAATSINGEN.	43
5.1. Onderzochte ontwerpen.	43
5.2. Berekeningsmethode.	43
5.3. Vaststellingen op sedimentologisch gebied.	45
6. ALGEMENE CONCLUSIES.	47



## 1. OPDRACHTOMSCHRIJVING EN INLEIDING.

---

In verband met de zeewaartse uitbouw van de haven van Zeebrugge, zoals schematisch is weergegeven op bijlage 1, werd het Waterbouwkundig Laboratorium te Borgerhout opgedragen op een fysisch overzichtsmodel van de kust en het Scheldeëstuarium proefondervindelijk

- 1° de invloed van deze uitbouw met overstroombare dammen op waterloopkundig, nautisch en sedimentologisch gebied te onderzoeken ;
- 2° rekening houdend met de bevindingen hierboven vermeld, de meest optimale kruinhoogte van deze havendammen te bepalen in het bijzonder in verband met de onderhoudsbaggerwerken van de Pas van het Zand.

Dit eerste verslag over de uitgevoerde proeven handelt over het waterloopkundige en het nautische aspect van de opdracht. De verschillende fasen in deze studie zijn het onderzoek van het lengteprofiel van de havendammen, de invloed van de uitdieping van de vaar- en toegangsgeulen met en zonder havendammen, en de invloed van de strandverdediging langs de Oostkust.

De resultaten van het waterloopkundig onderzoek zijn verder gebruikt om een zekere voorspelling te maken van de te verwachten bodemevoluties en hiermee gepaard gaande materiaalverplaatsingen.

## 2. UITGEVOERDE METINGEN BIJ DE VERSCHILLENDE ONDERZOCHE TOESTANDEN.

---

Voor al de proeven werden snelheidsmetingen met oppervlakedrijvers uitgevoerd, zodat de snelheden waarvan sprake is in dit verslag, oppervlakesnelheden zijn. Aan de randen van het model (buiten de invloedszone) werden ter controle snelheid - richting micromolens opgesteld, om na te gaan of de randvoorwaarden dezelfde bleven als na de ijking van het model. De proeven werden uitgevoerd met een permanente eb- en vloedstroming (cfr. "Mod. 265-2 - Model van de Kust en het Scheldeestuarium - Beschrijving en ijking van het model - 3.2.2.)).



### 3. ONDERZOEK IN GLOBO.

#### 3.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.

In de eerste fase van het onderzoek werden vier ontwerpen bestudeerd waarbij de voorhaven van Zeebrugge werd uitgebouwd zowel met overstroombare als onoverstroombare havendammen.

Bijlage 2 geeft de inplanting van de havendammen waarvan het planzicht voor de vier ontwerpen hetzelfde is. Het lengteprofiel van de verschillende ontwerpen vindt men op bijlage 3. De kruinen van de worteleinden van beide dammen zijn voor elk ontwerp op cota Z +7m gelegen. De bodemconfiguratie is ten behoeve van deze reeks proeven niet gewijzigd, zodat dus de bestaande toestand van de toegangsgeulen is behouden. In de voorhaven zelf werd in het model langsheen de westelijke havendam een artificiële zandaanvulling onder een helling van circa 2% gedacht.

a) Ontwerp T5.

In dit ontwerp komt het lengteprofiel van de gedeeltelijk overstroombare dammen overeen met het oorspronkelijk voorstel zoals het op bijlage 1 schematisch is weergegeven. De kruin van het kopeinde van de westelijke dam is op cota Z -3 m, terwijl die van de oostelijke dam op cota Z -4m gelegen is. De overgang van het onoverstroombaar gedeelte van de dammen naar het overstroombaar gedeelte verloopt vrij steil.

b) Ontwerp T6.

In dit ontwerp zijn de kruinen van de overstroombare gedeelten van de dammen op cota Z +1m. Dit houdt in dat bij dit ontwerp de dammen bij laagwater volledig onoverstroombaar zijn. Het lengteprofiel vertoont ook hier een steile knik.

c) Ontwerp T7.

Dit is een ontwerp waarbij de dammen volledig onoverstroombaar zijn bij halftij doordat de kruinen van de overstroombare gedeelten van de dammen op cota Z +2,50m zijn gelegen.

d) Ontwerp T8.

In dit ontwerp zijn de dammen in alle omstandigheden onoverstroombaar, doordat de kruinen over de volledige lengte van



beide dammen op cota Z +7, 0m gelegen zijn.

Daar de havendammen bij het ontwerp T6 reeds onoverstroombaar zijn bij de beschouwde ebstroming, werd voor de ontwerpen T7 en T8 enkel de vloedstroming bestudeerd.

### 3.2. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.

-----

Voor alle toestanden werden de stroombanen aan de oppervlakte opgenomen in een strook begrepen tussen Wenduine en het Zwin en dit tot 10 km uit de kust. Door vergelijking van elke toestand met de ijktoestand T0 of van de verschillende toestanden onderling, bekomt men een inzicht over de waterloopkundige gevolgen van de verschillende ontwerpen. Grote stroomconcentraties met gevaar tot ontgroning, stroomloze zones en neervormingen met gevaar tot aanzanding of aanslibbing komen op deze stroombeelden duidelijk te voorschijn. Op de bijlagen 4 t/m 9 zijn de stroombanen getekend voor de verschillende toestanden. De snelheidsschaal is : 1cm tekening is 0,895 m/s natuur. De snelheidsvectoren die betrekking hebben op de ijktoestand T0 zijn in het zwart getekend, diegenen die opgenomen werden tijdens een bepaalde proef zijn in een bepaalde kleur weergegeven.

#### 3.2.1. Snelheidsverloop in de onmiddellijke nabijheid van de voorhaven.

Uit de bijlagen 4 t/m 9 kunnen volgende vaststellingen worden gemaakt :

- Stroomloze zones, t.t.z. zones waarbinnen de snelheden kleiner zijn dan 0,5 m/s, strekken zich bij eb zowel voor T5 als voor T6 ten oosten van de oostelijke havendam uit tot ter hoogte van het Casino van Knokke, ten westen van de westelijke havendam bij T5 tot de haven van Blankenberge en bij T6 zelfs tot halverwege Wenduine-Blankenberge. Ook zeewaarts breidt deze zone zich bij T6 verder uit dan bij T5 ingevolge het onoverstroombaar maken van de dam bij laagwater. Bij vloed reiken deze stroomloze zones ten westen van de



westelijke havendam tot ter hoogte van de pier van Blankenberge met een zekere verschuiving in oostelijke of in westelijke zin naargelang een mindere of meerdere overstroombaarheidsgraad van de havendammen ; ten oosten van de oostelijke havendam gaat de stroomloze zone tot ter hoogte van het Casino van Knokke bij T5 en breidt zich nog verder oostwaarts uit naargelang de kruinhoogte van de havendammen toeneemt.

Ook zeewaarts reiken deze zones eveneens verder naargelang de graad van overstroombaarheid afneemt.

- Bij eb treden in beide toestanden grote stroomconcentraties op langs de oostelijke havendam, en aan de kopeinden van beide havendammen.

Bij vloed zijn stroomconcentraties hoofdzakelijk aan de kopeinden waar te nemen welke in kracht toenemen naargelang de kruinhoogte toeneemt.

- In alle toestanden is er tussen de havendammen binnen de onoverstroombare gedeelten neervorming met kleine snelheden waar te nemen die bij eb tegen uurwijzerszin en bij vloed in uurwijzerszin gericht is. De grootte van deze zone is in alle omstandigheden functie van de hoogteligging van de kruinen van de havendammen.

### 3.2.2. Wijzigingen in de stromingen langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge en in de vaarpassen.

-----

#### 3.2.2.1. Snelheden.

Het stroombeeld geeft reeds een globaal inzicht in de wijzigingen die beide componenten van de snelheidsvectoren (grootte en richting) ondergaan bij de verschillende ontwerpen in vergelijking met de T0 toestand.

De komponent "grootte van de snelheid" is bovendien nader geanalyseerd op hierna volgende wijze .



De kuststrook is in vakken verdeeld die maximaal  $9 \text{ km}^2$  natuur, zijnde  $9 \text{ m}^2$  model, groot zijn ; naargelang men Zeebrugge nadert, zijn de vakken drie tot vier maal kleiner. Met een computerprogramma wordt voor iedere toestand bepaald in welk vak het beginpunt van elke ingemeten snelheidsvector gelegen is (cfr. Mod. 265-2 - Model van de kust en het Scheldeëstuarium - Beschrijving en ijking van het model - 2.8.). Voor ieder vak worden de absolute waarden van de grootte van de snelheidsvectoren opgeteld, en wordt het rekenkundig gemiddelde gemaakt van al de vectoren waarvan het beginpunt in het desbetreffende vak valt. Deze werkwijze is eerst toegepast op de snelheden die in de T0 toestand werden waargenomen. De gemiddelde snelheden die voor ieder ontwerp T5 t/m T8 zijn berekend, worden voor elk vak met de overeenkomstige T0 snelheden vergeleken, en het verschil wordt in procentuele toe- of afname uitgedrukt.

De resultaten van deze berekening zijn voor de verschillende toestanden samengebracht op bijlage 10 wat de eb betreft en bijlage 11 wat de vloed betreft. De getallen zijn positief wanneer het een toename van de absolute waarde van de snelheid t.o.v. de T0 toestand betekent, en negatief wanneer het een afname betekent.

- a) Vaststellingen bij maximale ebstroming (bijlage 10).
  - In het algemeen kan gezegd worden dat merkbare snelheidswijzigingen optreden in de zone begrepen tussen de raaien loodrecht op de kust, ter hoogte van het Zwin en Wenduine en een lijn welke ongeveer de zuidelijke rand van de Vlakte van de Raan volgt.
  - In een raai loodrecht op de Oostkust is vanaf de kust tot de zuidelijke rand van de Raan zowel voor T5 als T6 een afname van de stroomsnelheid van de orde van 5 à 10% waar te nemen. Dit zou er kunnen op duiden dat deze toestanden het stromingsregime van het Scheldeëstuarium zouden kunnen wijzigen.



- Langsheen de kust is over gans de lengte, van het Zwin tot Wenduine een snelheidsafname waar te nemen, welke in het algemeen bij T6 groter is dan bij T5 en eveneens toeneemt naarmate men vanuit het oosten of het Westen Zeebrugge nadert.
  - Voor de ingang van de voorhaven zijn ter hoogte van Scheur-Wielingen forse snelheidstoename waar te nemen van de orde van 10% à 15% voor T5 en 20% à 30% voor T6, met daarbij een nog grotere toename aan de kopeinden van de havendammen zelf met sterke stroomconcentraties aldaar. Ook oostelijk en westelijk van de lichtlijn van Zeebrugge zijn ter hoogte van Wielingen-Scheur nog vrij aanzienlijke snelheidstoename waarneembaar, zo b.v. circa 20% bij T5 en 35% bij T6 ter hoogte van de westelijke punt van de Bol van Heist.
  - De zones met kleine stroomsnelheden ( $< 50\text{cm/s}$ ) alsmede de uitbreiding van T5 naar T6 komen duidelijk te voorschijn op bijlage 10.
- b) Vaststellingen bij maximale vloedstroming (bijlage 11).
- Waar ook hier, zoals bij de eb werd waargenomen, ten westen van de raai Wenduine geen merkbare snelheidswijzigingen meer optreden is daarentegen langsheen de Oostkust een snelheidswijziging merkbaar, voor al de onderzochte toestanden tot ten oosten van het Zwin toe.
  - In een raai loodrecht op de kust ter hoogte van Blankenberge is eveneens een lichte afname van de stroomsnelheid waarneembaar juist zoals dat bij de eb het geval is in een raai loodrecht op de Oostkust ter hoogte van het Zwin, hetgeen zou bevestigen dat een lichte wijziging van het stroomregime in het Scheldeestuarium mogelijk is.
  - Langsheen de kust vanaf Wenduine tot voorbij het Zwin is een snelheidsafname waar te nemen welke toeneemt naargelang de havendammen minder overstroombaar zijn en welke eveneens toeneemt naarmate men uit het oosten of het westen Zeebrugge nadert.



- Voor T5 bedraagt de snelheidstoename t.o.v. de T0 toestand 15% aan het westelijk kopeinde (cota Z -3m) en 25% aan het oostelijk kopeinde (cota Z -4m). Naargelang men de kruinen van het overstroombaar gedeelte geleidelijk optrekt tot cota Z +1m (T6), cota Z +2,5m (T7) en cota Z +7m (T8), nemen vlak voor de westelijke kop de snelheden t.o.v. T0 toe met respectievelijk 20%, 30% en 35%. Langs het oostelijk kopeinde is echter een afname waar te nemen, te wijten aan het feit dat dit in de schaduwzijde van de westelijke havendam gelegen is.
- Opvallend is wel het feit dat vlak voor de haveningang volgens de lichtenlijn de snelheidstoename vrij uniform verspreid is over gans de dwarssektie.
- Tussen de Scheurpas en de ingang van de voorhaven gaat de toename t.o.v. T0 van 15% (T5) naar 35% (T8); in de Scheurpas zelf gaan deze toename van 20% naar 35% ter hoogte van de voorhaven en nog van 10% naar 20% ter hoogte van het oostelijk uiteinde van de Bol van Heist.

Algemeen moet gewezen worden op het feit dat deze vaststellingen volgen uit de gemiddelde snelheidsvector die voor ieder vak en ieder ontwerp bepaald werd. De snelheidstoename of afname kan lokaal nog belangrijker zijn. Dit volgt enerzijds uit een ontleding van de stroombanen (bijlagen 4 t/m 9), waarop bij vloed ter hoogte van het westelijk kopeinde voor de T5, T6, T7 en T8 toestanden respectievelijk snelheden van 2.00 m/s, 2.20 m/s, 2.45 m/s en 2.75 m/s zijn gemeten terwijl bij T0 de snelheid op die plaats 1.50 m/s bedraagt. Anderzijds volgt dit ook uit de bijlagen 12 en 13 die respectievelijk bij eb en vloed de dwarskomponent van de oppervlaktesnelheid weergeven. Voor de bepaling van dit verloop is rekening gehouden met de snelheidsvectoren waarvan het beginpunt ligt in een strook met een breedte van 750 m en met de lichtenlijn als langas.



Op bijlage 13 (vloed : 0h40 vbb H.W. Zeebrugge) ziet men duidelijk dat het maximum van de kromme voor T5, T6, T7 en T8 respectievelijk een toename ten opzichte van T0 van 30%, 55%, 70% en 80% betekent.

De ontworpen havendammen betekenen een insnoering van de stroomvoerende sectie onder de Belgische kust. Op bijlage 2 is een doorsnede A-B aangebracht. De bestaande stroomvoerende sectie A-B bedraagt op het tijdstip 5h30 na H.W. Zeebrugge circa 106.000 m<sup>2</sup> (natuur) en op het tijdstip 0h40 vbb H.W. Zeebrugge circa 150.000 m<sup>2</sup> (natuur). Voor de verschillende ontwerpen is in onderstaande tabel 1 de natte sectie van de westelijke havendam weergegeven en de teweeggebrachte procentuele insnoering.

TABEL 1.

	NATTE SEKTIE HAVENDAM (m <sup>2</sup> )		INSNOERING (%)	
	5h30 na H.W.	0h40 vbb H.W.	5h30 na H.W.	0h40 voor H.W.
T5	22000	29100	21%	19%
T6	29400	36900	28%	25%
T7	29400	40200	28%	27%
T8	29400	45000	28%	30%

Vergelijkt men deze waarden globaal met de waarden van de snelheidstoename in het Scheur en de Wielingen in de nabijheid van de nieuwe havenmond die op de bijlagen 10 en 11 weergegeven zijn, dan vindt men een vrij goede overeenkomst.



### 3.2.2.2. Snelheidsrichtingen.

#### a) Vaststellingen bij maximale vloedstroming.

Ten westen van de lichtenlijn van Zeebrugge ondergaan de snelheidsvectoren t.o.v. de T0 toestand ingevolge de aanwezigheid van de havendam een verdraaiing tegen uurwijzerszin welke toeneemt naarmate de kruin der westelijke havendam hoger komt te liggen. Ten oosten ondergaan de snelheidsvectoren een verdraaiing in uurwijzerszin eveneens toenemend van T5 naar T8.

Verder zijn in een raai loodrecht op de kust hogervermelde verdraaiingen maximaal langsheen de kust en nemen geleidelijk af naarmate men zich verder van de kust verwijderd.

Op een lijn evenwijdig met de kust zijn hogervermelde verdraaiingen maximaal, juist ten westen of ten oosten van Zeebrugge en nemen geleidelijk aan af, gaande in westelijke of oostelijke richting.

#### b) Vaststellingen bij maximale ebstroming.

Voor deze stromingstoestand gelden dezelfde vaststellingen als hierboven bij de vloedstroming zijn uiteengezet.

### 3.3. Vaststellingen op nautisch gebied.

#### 3.3.1. Theoretische benadering.

Het nautisch probleem wordt theoretisch benaderd door het onderzoek van de dwarskrachtenlijn, die bekomen wordt door berekening van de dwarskomponent (komponent loodrecht op de vaarroute, in dit geval de lichtenlijn van Zeebrugge) van de krachten, door het water uitgeoefend op een schip dat steeds met zijn langsas evenwijdig vaart met de vaaras. Deze dwarskrachten zijn nu berekend uitgaande van de oppervlaktesnelhe-



den bepaald door de metingen met oppervlakedrijvers in model. De oppervlaktesnelheidsvectoren die hiervoor in aanmerking komen zijn deze waarvan het beginpunt ligt in een strook van 750 m breedte (500 m ten westen van de lichtenlijn, 250 m ten oosten van de lichtenlijn).

De dwarskracht  $K_y$  uitgeoefend door het water is berekend uitgaande van onderstaande formule (Lamb-Hydrodynamics p. 103):

$$K_y = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$$

met

$K_y$  de totale dwarskracht loodrecht op de vaarlijn (Newton)

$\rho$  de dichtheid van het water ( $\text{kg/m}^3$ )

$S$  plaatoppervlak van het schip dat aan de dwarskracht is blootgesteld ( $\text{m}^2$ )

$\alpha$  de hoek tussen de vaarlijn en de snelheidsvectoren die op het schip werken

$V$  de grootte van de snelheidsvectoren

De dwarskrachtgrootheid  $\bar{K}$  wordt gedefiniëerd als zijnde de maat voor de dwarskracht per eenheid van plaatoppervlak en loodrecht op de plaatrichting :

$$\bar{K} = \frac{K_y}{\rho \cdot S} = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} V^2 \quad (\text{m}^2/\text{s}^2)$$

Op bijlage 14 is de dwarskrachtgrootheid  $\bar{K}$  uitgezet loodrecht op de lichtenlijn.

De overgang van de dwarskrachtgrootheid naar de dwarskracht wordt in onderstaand rekenvoorbeeld uitgewerkt :

- men veronderstelt een schip met een diepgang van 12 m en een lengte van 240 m zodat  $S = 12 \times 240 = 2880 \text{ m}^2$ ; de dichtheid van het zeewater is  $1025 \text{ kg/m}^3$ ; de dwarskrachtgrootheid is  $\bar{K} = 1 \text{ m}^2/\text{s}^2$  verondersteld.



- dan is de dwarskracht  $K_y = K \cdot \rho \cdot S$   
 $K_y = 1.1025.2880$   
 $K_y = 2950000 \text{ Newton}$   
 $K_y = 300.000 \text{ kgf}$   
 $K_y = 300 \text{ ton}.$

In de literatuur (Ile Commission Internationale des Pétroliers - (1970-1974) - AIPCN-PIANC - 1973 n° 16) vindt men, uitgaande van de snelheid van het water gegevens betreffende de invaarsnelheden, alsmede betreffende de remafstanden welke hiermede overeenkomen.

Uit dit literatuuronderzoek blijkt dat bij het invaar- of naderingsmanoeuvre zonder sleepbootassistentie volgende vaststellingen kunnen gemaakt worden :

- De snelheid van het schip in de toegangsgeul tot de haven zou 4 maal groter moeten zijn dan de loodrechte komponente van de dwarsstroming, zo niet wordt de manoeuvreerbaarheid van het schip problematisch (maximale scheepssnelheden bedragen o.a. voor een typetanker van 110.000 D.W.T. 14 knopen en voor een typetanker van 210.000 D.W.T. circa 16 knopen).
- De remafstanden zijn in onderstaande tabel 2 voor twee verschillende motorregimes en twee typetankers weergegeven voor het geval de naderingssnelheid gelijk is aan de maximale snelheid welke het schip kan ontwikkelen.

TABEL 2.

tonnenmaat	110.000 D.W.T.	210.000 D.W.T.
motorregime		
halve kracht achteruit	4, 1 km	5, 7 km
volle kracht achteruit	3, 0 km	4, 6 km

Er dient hierbij opgemerkt dat "volle kracht achteruit" normaal slechts in noodgevallen wordt toegepast.



Met hogere gegevens, de stroombanen (bijlagen 4 t/m 9) en de dwarskrachtlijn (bijlage 14) kunnen voor de verschillende ontwerpen een reeks parameters bepaald worden die voor een invaarmanoeuvre zonder sleepbootassistentie op het ogenblik van maximale vloedstroming (0h40 vóór H.W. Zeebrugge) van belang zijn.

TABEL 3.

	T0	T5	T6	T7	T8
Max. Dwarskomponent Snelheid Water (m/s) (ter hoogte van de steile dwarskrachtgradiënt)	1,40	2,00	2,10	2,30	2,45
Max. Vereiste Invaarsnelheid Schip (knopen)	11,0	15,5	16,5	18,0	19,0
Max. Dwarskracht- grootheid ( $m^2/s^2$ )	1,00	2,25	2,45	2,60	3,00
Max. Dwarskracht (ton) (schip 12m x 240m)	300	675	735	780	900
Gradiënt Dwarskracht (°) (vgl. schalen bijlagen 14)	85	78	85	85	85
Beschikbare Remafstand (km) / (tussen steile dwarskracht- gradiënt en de kop van de bestaande westelijke dam)	/	3,0	4,5	4,5	4,5

Er dient opgemerkt dat de dwarskracht berekend is met metingen met oppervlaktedrijvers. De gemiddelde snelheid van het water in het model bedraagt 0,75 maal de oppervlaktesnelheid zodat de dwarskracht met circa 45% zou mogen verminderd worden.



Uit deze theoretische beschouwingen zou dus volgen dat het invaarmanoeuvre zonder sleepbootassistentie op het tijdstip van 0h40 vbb H.W. Zeebrugge, t.t.z. op het ogenblik van maximale stroomsterkte bij vloed voor het ontwerp T5 en vooral voor de ontwerpen T6, T7 en T8 problematisch is, niet alleen ingevolge de hoge vereiste en niet haalbare invaarsnelheden maar ook ingevolge de steile dwarskrachtgradiënt. Het invaren zou dus dienen te gebeuren bij H.W. of zelfs na H.W. wanneer de vloodsnelheden reeds aanzienlijk in kracht zijn afgenomen.

### 3.3.2. Beschouwingen in verband met het praktische invaarmanoeuvre.

#### 3.3.2.1. Manoeuvres en voorzieningen bij het binnenbrengen van tankschepen in de huidige voorhaven van Zeebrugge.

Ongeveer 2h voor H.W. Zeebrugge vertrekt het schip aan de A1 boei ; de kustloods van Zeebrugge bevindt zich aan boord van de tanker ofwel vanaf het Loodsstation (A1) ofwel vanaf Rotterdam ofwel vanaf het Loodsstation nabij Calais. Het traject naar de Scheur-5 boei duurt ongeveer 1 uur. Ter hoogte van de Scheur - Zand-boei wordt het schip opgewacht door 6 sleepboten en opgepikt door vier hiervan.

De in gebruik zijnde sleepboten te Zeebrugge hebben allen een verschillende "bollard pull" (trekkracht aan de haak) welke varieert van 17 tot 32 ton. Tekening 2 van bijlage 15 maakt duidelijk hoe het vastmaken geschiedt en de volgorde van de nummering der sleepboten geeft een indicatie van de rangorde der sterkte ; sleepboot nr. 1, de krachtigste, wordt stuurboord achteraan en sleepboot nr. 4, de zwakste, bakboord achteraan vastgemaakt.

Men vertrekt doorgaans aan de Scheur-Zand-boei ongeveer 3/4 uur vbb H.W. Zeebrugge waarbij de Scheur-Zand-boei aan bakboord wordt gelaten. Dit traject dat van de bebakende vaarroute afwijkt wordt door de kustloodsen gekozen omdat bij het volgen van de bebakende



vaarroute (Scheur-Zand-boei aan stuurboord) teveel wordt afgedreven (tek. 1 bijl. 15).

Gezien de getijstroom reeds volop vloedgericht is wordt de koers doorgaans genomen op  $160^{\circ}$ , terwijl de snelheid van de tanker circa 4 - 5 knopen bedraagt.

Deze vaarsnelheid van het schip wordt, in normale omstandigheden volledig teweegebracht door de eigen voortstuwing en niet door de sleepboten ; deze laatste vervullen enkel een koersregelende of bijsturende functie.

Naargelang de stroomintensiteit toeneemt, door het naderen van de kop van de havendam, wordt geleidelijk meer en meer stuurboord opgestuurd zo nodig met behulp van de sleepboten ; als gangbare vuistregel geldt dat de voorsteven van de tanker steeds dient gericht te blijven op de kop van de westelijke havendam. In de nabijheid van dit laatste punt is de afwijking tussen kompasstand van het schip en de lichtenlijn ( $136^{\circ}$ ) dan ook minstens  $70^{\circ}$ . Alzo ligt het tankschip meteen klaar, om enkele ogenblikken nadien de directe toegang tot de haven zelf binnen te varen. Het schip vaart alzo voorbij de kop van de westelijke dam op het ogenblik van H.W. of H.W. + 15'.

De hogervermelde schikking der sleepboten zorgt er voor dat de nog zeer sterke dwarse vloedstroom op dit tijdstip wordt overwonnen zodat het schip steeds in de goede vaarpositie blijft. De achterste sleepboot aan stuurboord, dit is tevens de krachtigste, speelt hierbij de voornaamste rol, gezien, op een bepaald moment, het voorschip uit de stroom komt terwijl het achterschip zich nog steeds in volle vloedstroom bevindt. Teneinde op alle eventualiteiten voorbereid te zijn, zijn de sleepboten nr. 5 en 6 aanwezig op het traject Scheur-Zand-boei tot de kop van de havendam.

Eens dat het schip voorbij de kop van de havendam is wordt het gestopt en over  $180^{\circ}$  gezwaaid met behulp van de sleepboten. Het zwaai-manoeuvre is naar stuurboord gericht en duurt circa 25'. Het afmeren van de tanker langsheen de kaaimuren in de voorhaven geschiedt met behulp van de zes sleepboten en in het algemeen is het zo dat het schip afgemeerd ligt ongeveer 1 uur na H.W. Zeebrugge.



Op bijlage 15 tek. 3 wordt ook het uitvaarmanoeuvre weergegeven. Bij het verlaten van de rede bevindt zich nu de voorsteven van het schip in de vloedstroom zodat ook nu geleidelijk moet opgestuurd worden wil men een aanvaring tegen de kop van de westelijke dam vermijden. De komvorm van de Pas van het Zand juist voor de voorhaven biedt hier een gepaste uitkomst, dit maakt bovendien ook het in- en uitvaren van containerschepen bij de eb mogelijk.

#### 3.3.2.2. Manoeuvres en voorzieningen bij het binnenbrengen van tankers in de nieuwe toestand.

Hoewel de hoger besproken ontwerpen theoretisch in de periode juist voor H.W. Zeebrugge nautisch gezien zonder sleepbootassistentie problematisch zijn, wijst de praktijk er toch op dat de gebruikte theoretische benadering en de resultaten onder 3.3.1. enigszins te streng zijn om in de praktijk voor Zeebrugge toegepast te worden.

De verhouding dwarskomponente van de stroomsnelheid  
snelheid van het schip

welke theoretisch de waarde 0.25 niet zou mogen overtreffen wordt in de praktijk wel enigszins opgedreven, zelfs zou volgens de kustloodsen een faktor 0.5 mogen aangenomen worden. De dwarskracht uitgeoefend door het water wordt eerder door het opsturen opgevangen dan door de invaarsnelheid.

Een invaarmanoeuvre met een snelheid van 8 knopen is nog denkbaar met sleepbootassistentie, hetgeen praktisch zou toelaten een stroomsnelheid tot 2 m/s op te vangen en waarbij de beschikbare remafstanden nog ruimschoots voldoende zouden zijn. Waar de invaarsnel-



heid alleen door het schip zelf geregeld wordt, is dit voor het bestendig opsturen in de goede richting niet mogelijk, en daarvoor zou dus ook in de toekomst sleepbootassistentie vereist zijn.

Echter bij het opsturen speelt ook de vorm van de dwarskrachtenlijn een belangrijk rol. Deze dwarskrachten mogen namelijk niet te plots verminderen, daar dit zou meebrengen dat het opsturen ook plots dient te veranderen, hetgeen voor schepen van grote tonnenmaat een moeilijk haalbare zaak is. Voor de onderzochte ontwerpen heeft men aan de ingang tussen de nieuwe havendammen een vrij steile gradiënt in de dwarskrachtenlijn, hetgeen het gevaar oplevert dat de daaruit opeenvolgende plotse koerswijzigingen zelfs niet met sleepbootassistentie haalbaar zijn, en gezien de toch vrij grote vaarsnelheid van het schip, aanvaring van de havendammen en stranding niet uitgesloten is.

Waar een komvormige uitdieping vlak achter de ingang van de nieuwe havendammen enige oplossing zou kunnen bieden is het echter aangewezen een minder steil verloop van de dwarskrachtenlijn te verwezenlijken zo niet zal de scheepvaart zich verplicht zien de haventoeegang aan te doen in de periode gelegen tussen H.W. en halftijhoogte bij dalend getij, hetgeen een verlies in beschikbare waterdiepte betekent.

### 3.4. Conclusies.

-----

- I. Waterloopkundig zal de uitbouw met hooggelegen gedeeltelijk overstroombare of volledig onoverstroombare havendammen zoals aangegeven op bijlagen 2 - 3, grote wijzigingen in de stroomsnelheden (bijlagen 10 - 11) voor gevolg hebben, dit niet alleen in de nabijheid van de nieuwe havenmond zelf maar ook langsheen de kust gaande van Wenduine tot over de Nederlands-Belgische grens in het oosten, als-



mede in het gebied van de vaarpassen Ribzand - Scheur, toegang tot de Westerschelde. Tevens bestaat de kans dat het tijregime zich in het Scheldeëstuarium gaat wijzigen.

- II. De wijzigingen op waterloopkundig vlak welke voor bepaalde onderzochte toestanden een stroomtoename van 20 à 30% of zelfs meer betekent t.o.v. de T0 toestand, over een uitgestrekt gebied in de omgeving van de nieuwe havenmond, zal onvermijdelijk gepaard gaan met grote bodemevoluties en aanzienlijke materiaalverplaatsingen - in een later stadium (5. Enkele beschouwingen i.v.m. het materiaaltransport) wordt hier nog nader op teruggekomen - hetgeen niet alleen het behoud van de zuidelijke vaarpassen in het Scheldeëstuarium ongunstig kan beïnvloeden maar daarbij ook een ongunstige weerslag kan hebben op de Westerschelde zelf waarin de toevoer van vaste stoffen vanuit zee kan toenemen.
- III. Hooggelegen gedeeltelijk overstroombare havendammen met vrij brutale overgangen alsmede onoverstroombare havendammen geven, zo men de ogenblikken van kentering buiten beschouwing laat, niet alleen grote dwarskrachten maar ook grote dwarskrachtgradiënten (bijlage 14) hetgeen tal van nautische bezwaren oproept.

x

x

x

Rekening houdend met de vaststellingen in verband met de overeenkomst model - natuur (cfr. MOD 265-2 Model van de Kust en het Scheldeëstuarium - Beschrijving en ijking van het model - 3.3.2.) zullen hogervermelde wijzigingen en gevolgen in werkelijkheid nog enigszins groter uitvallen dan uit de modelproeven werd afgeleid.



#### 4. ONDERZOEK MET GELEIDELIJK OVERSTROOMBARE HAVENDAMMEN.

---

##### 4.1. Detailonderzoek van het lengteprofiel van de havendammen.

---

In deze faze van het onderzoek werden vijf ontwerpen bestudeerd waarbij de voorhaven van Zeebrugge werd uitgebouwd met laaggelegen gedeeltelijk overstroombare havendammen en waarvan de kruinhoogte geleidelijk naar zee toe afneemt.

##### 4.1.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.

---

Het planzicht van de beide havendammen is voor de vijf ontwerpen hetzelfde als dat voor de ontwerpen T5 tot en met T8 die in het onderzoek in globo zijn onderzocht ; de bodemconfiguratie is ook voor deze proeven ongewijzigd gebleven en in de voorhaven langs de westelijke havendam blijft de artificiele zandaanvulling onder een helling van circa 2% behouden. Het lengteprofiel van de havendammen is voor de verschillende ontwerpen op bijlage 16 weergegeven. Voor ieder ontwerp is de kruin aan het worteleinde op cota  $Z + 7\text{m}$  gelegen, en deze aan het kopeinde op cota  $Z - 3\text{m}$ .

##### a) ontwerpen T9 en T10.

In deze ontwerpen blijft de kruin van de westelijke havendam op cota  $Z + 7\text{m}$ , van het worteleinde (tegen de bestaande westelijke havendam) tot circa 1,5 km zeewaarts.

De kruinhoogte neemt van daaruit af tot cota  $Z - 3\text{m}$  over een afstand van circa 2,6 km volgens een lineair verloop voor het ontwerp T10 en met een knik voor het ontwerp T9. Vertrekkende van het punt O'2 (bijlage 16) dat het snijpunt is van de inplantingslijn van de ontworpen oostelijke havendam met een raaklijn aan de kop van de bestaande westelijke havendam, vertoont het lengteprofiel van de oostelijke havendam een verloop gelijkaardig aan dat van de westelijke havendam, waarbij de overgang van cota  $Z + 7\text{m}$  tot cota  $Z - 3\text{m}$  zich over een afstand van 2,3 km uitstrekt.



b) ontwerpen T11 en T12.

Bij deze ontwerpen neemt de hoogte van de kruin van de westelijke havendam geleidelijk af van cota  $Z + 7\text{m}$  aan het worteleinde tot cota  $Z - 3\text{m}$  circa 4 km zeewaarts, waarbij de afname volledig lineair verloopt voor het ontwerp T11 en met een kleine knik voor het ontwerp T12. Het lengteprofiel van de oostelijke havendam dat een gelijkaardig verloop heeft (vertrekkende van O'2) vertoont een afnemende kruinhoogte (van  $Z + 7\text{m}$  tot  $Z - 3\text{m}$ ) over 3,5 km.

c) ontwerp T13.

Van al de onderzochte ontwerpen is dit het ontwerp met de grootste overstroombaarheidsgraad. Het lengteprofiel van de westelijke havendam heeft een dalend verloop van aan het worteleinde ( $Z + 7\text{m}$ ) tot circa 2,4 km zeewaarts (cota  $Z - 3\text{m}$ ). Voor de oostelijke havendam geldt dezelfde opmerking over het verloop als hierboven onder a) en b) is uiteengezet, met een daling over 2 km.

De overstroombaarheidsgraad van de vijf ontwerpen neemt toe in de volgorde T10, T9, T11, T12, T13. De gradiënten van het lengteprofiel zijn flauwer voor de ontwerpen T11 en T12, dan voor de ontwerpen T9, T10 en T13.

4.1.2. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.

Voor de vijf ontwerpen T9 t/m T13 werden metingen met oppervlaktedrijvers uitgevoerd in een zone van circa 10 km breedte langsheen de kust tussen Wenduine en de Nederlands-Belgische grens en vergeleken met de T0 toestand.

4.1.2.1. Snelheidsverloop in de onmiddellijke nabijheid van de voorhaven.

Op de bijlagen 17 t/m 20 zijn de stroombanen getekend voor de ontwerpen T11 en T13, met dezelfde hogervermelde schaal en kleurkonventie. De stroombanen voor



de ontwerpen T9, T10 en T12 hebben een gelijkaardig verloop als diegene waargenomen bij T11 -hier wordt verder in 4.1.2.2. op teruggekomen- en werden daarom niet in de bijlagen opgenomen.

Uit hogere bijlagen kan het volgende worden vastgesteld :

- De zones met kleine stroomsnelheden ( $< 50$  cm/s) strekken zich bij eb ten oosten van de oostelijke havendam voor T11 en T13 even ver uit zowel zeewaarts als langs de kust en dit tot halverwege Zeebrugge - Knokke ; ten westen van de westelijke havendam strekken deze zones zich uit bij T11 tot de haven van Blankenberge en bij T13 tot de pier van Blankenberge ; ook zeewaarts breidt deze zone zich bij T11 verder uit dan bij T13 ingevolge de kleinere overstroombaarheidsgraad van het ontwerp T11.

Bij vloed reiken deze stroomloze zones ten westen van de westelijke havendam tot ter hoogte van de pier van Blankenberge bij T11 met een lichte verschuiving naar het oosten bij het meer overstroombare ontwerp T13 ; ten oosten van de oostelijke havendam breidt deze zone zich uit tot Knokke bij T11 met een gelijkaardige verschuiving naar het westen bij T13. Tenslotte strekt deze stroomloze zone zich ook zeewaarts verder uit voor T11 dan voor T13.

De oppervlakten van de stroomloze zones zijn voor deze beide toestanden te vergelijken met diegene die werden waargenomen bij het ontwerp T5.

- Bij eb zijn de stroomconcentraties langs de oostelijke havendam en aan de kopeinden van beide havendammen veel kleiner voor T13 dan voor T11, ten gevolge het meer overstroombaar zijn van T13, waardoor de stromingen vlugger worden afgebogen en aldus beter gespreid worden. Bij vloed is het verschil in stroomconcentratie aan de kopeinden tussen beide ontwerpen T11 en T13 nog opvallender.
- Ook in deze toestanden is neervorming tussen de havendammen binnen de onoverstroombare gedeelten waar te nemen met dezelfde karakteristieken als hoger vermeld (3.2.1.).



4.1.2.2. Wijzigingen in de snelheidsgrootte langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge en in de vaarpassen.

---

De analyse van de komponent "snelheidsgrootte" is gebeurd zoals uiteengezet onder 3.2.2.1.

In het gebied rond de voorhaven zijn de wijzigingen t.o.v. de T0 toestand onderling vergeleken voor de vijf ontwerpen T9 t/m T13 en voor eb en vloed weergegeven respektievelijk op de bijlagen 21 en 22, waaruit de twee ontwerpen T11 en T13 werden opgenomen voor nadere studie over het gebied tussen Wenduine en het Zwin en vergeleken met de ontwerpen T5, T6 en T8, hetgeen voor de eb- en de vloedstroming op de bijlagen 23 en 24 wordt weergegeven.

a) Vaststellingen bij maximale ebstroming (bijl. 21 en 23)

- Algemeen kan worden opgemerkt dat oostelijk en westelijk de lichtenlijn tussen Scheur-Wielingen en de ingang van de voorhaven snelheidstoename bestaan overeenkomstig de overstroombaarheidsgraad van de havendammen. Wel zijn bij vergelijking van de snelheidswijzigingen van de ontwerpen T9 t/m T12 t.o.v. de T0 toestand de verschillen onderling vrij klein terwijl voor het ontwerp T13 een merkbare vermindering van snelheidstoename t.o.v. de T0 toestand waarneembaar is in vergelijking met de vorige vier ontwerpen. Omwille van de waterloopkundige gelijkwaardigheid tussen de ontwerpen T9 t/m T12, is enkel het ontwerp T11 met het meest geleidelijk aflopend lengteprofiel in het vervolg van de vergelijkende studie opgenomen, samen met het ontwerp T13.



- Voor de ontwerpen T11 en T13 (bijlage 23) blijven snelheidswijzigingen bestaan in de zone tussen de raaien loodrecht op de kust ter hoogte van het Zwin en Wenduine en de lijn welke de zuidelijke rand van de Vlakte van de Raan volgt.
- In een raai loodrecht op de Oostkust ter hoogte van het Zwin is t.o.v. T0, zoals voor de ontwerpen T5 en T6 het geval was, een lichte afname van de stroomsnelheid waarneembaar, hetgeen op een mogelijke wijziging bij eb van het tijregime in het Scheldeëstuarium zou kunnen wijzen, afname welke echter voor T13 als twijfelachtig of verwaarloosbaar zou kunnen aanzien worden.
- De snelheidsafname langsheen de kust vanaf het Zwin tot Wenduine is bij T13 kleiner dan bij T11 en vergelijkbaar met diegene die wordt waargenomen bij T5.
- Voor T11 bedraagt de snelheidstoename t.o.v. de T0 toestand circa 30% aan het westelijk kopeinde en 50% aan het oostelijk kopeinde en voor T13 respectievelijk 20% en 40%.
- Tussen de Scheurpas en de ingang van de voorhaven zijn de waargenomen toenames t.o.v. de T0 toestand begrepen tussen deze bij T5 en T6 waargenomen en bedragen ten westen van de lichtenlijn circa 25% voor T11 en circa 20% voor T13, en ten oosten van de lichtenlijn 30% voor T11 en 20% voor T13 ; in de Scheurpas zelf zijn de toenames ter hoogte van de voorhaven van de orde van 10% bij T13 en 15% bij T11.

b) Vaststellingen bij maximale vloedstroming (bijl. 22 en 24).

- Bij vergelijking van de wijzigingen die optreden bij de vijf ontwerpen T9 t/m T13 t.o.v. de T0 toestand oostelijk en westelijk de lichtenlijn tussen Scheur-Wielingen en de ingang van de voorhaven kan worden opgemerkt dat ook hier zoals bij de eb de snelheidstoenames overeenkomstig zijn met de overstroombaarheidsgraad van de havendammen;



wel zijn de verschillen tussen de wijzigingen die voor ieder ontwerp optreden meer uitgesproken dan bij de eb is waargenomen ; in de Scheur-Wielingen ter hoogte van de voorhaven zijn ook hier bij de vloedstroming de snelheidstoename de kleinste voor het ontwerp T13. Zoals bij de eb worden ook hier om dezelfde reden enkel de ontwerpen T11 en T13 met de ontwerpen T5 t/m T8 vergeleken.

- Zoals voor de ontwerpen T5 t/m T8 is waargenomen is tevens bij de ontwerpen T11 en T13 geen merkbare stroomwijziging vast te stellen ten westen van de raai loodrecht op de kust ter hoogte van Wenduine ; daarentegen blijft een niet te verwaarlozen snelheidswijziging bestaan langs de Oostkust tot voorbij het Zwin.
- In een raai loodrecht op de kust ter hoogte van Blankenberge-Wenduine is zowel voor T11 als T13 praktisch geen snelheidswijziging meer waar te nemen t.o.v. de T0 toestand zodat er ook geen sprake kan zijn van een eventuele wijziging in het tijregime van het estuarium voor deze beide toestanden.
- Langsheen de kust ten westen van de westelijke dam zijn de waar te nemen snelheidsafnamen kleiner bij T13 dan bij T11 ; ten oosten van de oostelijke havendam is de afname dezelfde voor beide ontwerpen.
- Tussen de Scheurpas en het hoofd van de westelijke havendam zijn de toename uniform verspreid en van de orde van 15% voor T11 in overeenkomst met T5 en van de orde van 5 à 10% voor T13. Een uniforme toename van circa 15% treft men ook aan tussen de Scheurpas en het hoofd van de oostelijke havendam voor het ontwerp T13. Daarentegen heeft men in die zone voor T11 wijzigingen van circa 10% tegen het oostelijk havenhoofd tot 25% in de Scheurpas en zelfs 30% aan het westelijk uiteinde van de Bol van Heist.



Zoals voor de ontwerpen T5 t/m T8 reeds werd opgemerkt zijn ook hier lokale snelheidstoename waar te nemen die groter zijn dan diegenen die gemiddeld voor ieder vak zijn bepaald. Bij vloed heeft men inderdaad ter hoogte van het westelijk hoofd voor de toestanden T11 en T13 respectievelijk snelheden van 2,00 m/s en 1,80 m/s. Ook op de bijlagen 25 en 26 die de dwarskomponent van de oppervlaksnelheid in een zone onmiddellijk links en rechts van de lichtenlijn weergeven, kan vastgesteld worden dat het maximum van de kromme voor T11 en T13 een toename t.o.v. de T0 toestand van 30 à 40% betekent.

Deze bijlagen bevestigen tevens de hogervermelde gelijkwaardigheid die bestaat tussen de ontwerpen T9 t/m T12 die bij eb zeer opvallend is en in iets mindere mate bij vloed in de zone tussen de Scheurpas en de ingang van de voorhaven. Enkel de plaats van de afname van de snelheid van maximum naar minimum ondergaat een verschuiving naar binnen of naar buiten de voorhaven die bij vloed volledig in overeenstemming is met de overstroombaarheidsgraad.

Vergelijkt men tenslotte in onderstaande tabel de waarden van de snelheidstoename in het Scheur en de Wielingen in de omgeving van de haventoeegang, met de procentuele insnoering van de stroomvoerende sectie onder de Belgische kust (doorsnede A.B. op bijlage 2), teweeggebracht door het aanbrengen van de havendammen, dan vindt men een vrij goede overeenkomst.

TABEL 4

	NATTE SEKTIE HAVENDAM (m <sup>2</sup> )		INSNOERING (%)	
	5h30 na H.W.	0h40 vbb H.W.	5h30 na HW.	0h40 vbb HW.
T11	25600	32000	24%	21%
T13	20800	24500	20%	16%

Zoals reeds bij de vaststellingen bij de snelheidstoename werd opgemerkt, wordt ook duidelijk dat de insnoering teweeggebracht door het ontwerp T11 begrepen is tussen diegenen veroorzaakt door T5 en T6, en is de insnoering bij T13 merkkelijk kleiner hetgeen al bleek uit snelheidstoename t.o.v. T0.



4.1.2.3. Wijziging in de snelheidsrichtingen langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge en in de vaarpassen.

Zoals uit de bijlagen 17 t/m 20 blijkt, gelden voor de ontwerpen T11 en T13 zowel bij eb als bij vloed dezelfde vaststellingen als onder 3.2.2.2. uiteengezet waarbij ook hier de grootte van de verdraaiing in (ten oosten van de lichtenlijn) of tegen (ten westen van de lichtenlijn) uurwijzerszin, in overeenstemming is met de overstroombaarheidgraad van de havendammen.

4.1.3. Vaststellingen op nautisch gebied.

De dwarskrachtenlijnen, door berekening bepaald zoals uiteengezet onder 3.3.1., zijn voor de ontwerpen T9 t/m T13, op de bijlagen 27 en 28 weergegeven respectievelijk voor de tijdstippen 5h30 na H.W. Zeebrugge en 0h40 voor H.W. Zeebrugge, t.t.z. de ogenblikken van maximale stroomsterkte bij eb en bij vloed.

Bij vloed (bijl. 28) kunnen volgende vaststellingen worden gemaakt :

- De maxima in de dwarskrachtenlijnen zijn voor de ontwerpen T9, T11, T12 en T13 kleiner, en voor het ontwerp T10 gelijk aan het maximum dat werd waargenomen voor het ontwerp T5. De dwarskomponent van de oppervlaktesnelheid die met dat maximum overeenkomt bedraagt nauwelijks 4 knopen. Omwille van het feit dat de verhouding

dwarskomponent van de stroomsnelheid volgens de nautici  
snelheid van het schip

tot de waarde 0,5 mag opgedreven worden, omdat de dwarskracht uitgeoefend door het water eerder door het opsturen wordt opgevangen, zal een invaarsnelheid van 8 knopen voor het invaarmanoeuvre bij deze ontwerpen voldoende hoog zijn, hetgeen dan ook een haalbare snelheid is.



- De dwarskrachtgradiënten (volgens de schalen van bijl. 28) variëren voor de toestanden T9 t/m T12 in overeenstemming met de steilten in het lengteprofiel van de havendammen, van 60° tot 75° t.o.v. de vaarroute hetgeen een verbetering betekent t.o.v. de ontwerpen T5 (78°) en vooral t.o.v. T6, T7, T8 (85°). Door deze geleidelijke afname van de gradiënt over een afstand van 1,5 km (voor de ontwerpen T9 - T10) en zelfs over 2 km voor de ontwerpen T11 - T12 zal de koers van het schip door een continu opsturen en met de nodige sleepbootassistentie kunnen aangepast worden. De dwarskrachtenlijn van het ontwerp T13 vertoont een gradiënt van circa 80° zoals voor het ontwerp T5. T.o.v. de huidige toestand T0 is dit geen merkbare verbetering.

- Ondanks de steile gradiënt in de dwarskrachtenlijn van het ontwerp T13, betekent dit ontwerp wel een verbetering t.o.v. de T0 toestand door het vergroten van de stroomloze zone (snelheden 0,5 m/s) binnen de voorhaven, en daaruitvolgende beschikbare remafstand over een lengte van circa 1,5 km. Voor de andere ontwerpen T9 t/m T12 is de winst aan stroomloze zones 2 à 3 km.

Bij eb (bijl. 27) kan men het volgende vaststellen :

- De maxima der dwarskrachten schommelen voor de vijf ontwerpen T9 t/m T13 rond dezelfde waarde en betekenen een verdubbeling t.o.v. de toestand T0 ; deze maxima zijn voor T9 t/m T12 circa 3 à 4 km en voor T13 circa 2,5 km uit de huidige haventoeegang gelegen. De dwarskomponent van de oppervlaktesnelheid die optreedt ter hoogte van die maxima bedraagt circa 2 knopen.
- De dwarskrachtgradiënten zijn iets flauwer voor de ontwerpen T9 t/m T12 dan voor het ontwerp T13. Echter zijn bij eb, door de kleinere dwarskracht, deze dwarskrachtgradiënten van minder belang dan bij vloed.



4.1.4. Conclusies.

- I. De waterloopkundige conclusies onder 3.4. (I & II) blijven voor de ontwerpen T9 t/m T12 nog gedeeltelijk geldig, in die zin dat de strengheid ervan afneemt naargelang de grotere overstroombaarheidsgraad van de havendammen en het hiermee gepaard gaande kleinere insnoeringseffekt van de stroomvoerende sectie onder de kust.  
Echter bij het ontwerp T13 zijn de snelheidswijzigingen t.o.v. T0 in die mate afgenomen in vergelijking met diegenen die bij al de andere toestanden waren waargenomen, dat de te verwachten materiaalverplaatsingen, waar verder wordt op teruggekomen (5. Enkele beschouwingen i.v.m. het materiaaltransport), kleiner zullen uitvallen. Tevens zal bij T13 geen wijziging in het tijregime van het Scheldeestuarium meer te verwachten zijn.
- II. Op nautisch gebied zijn met laaggelegen geleidelijk overstroombare havendammen zoals weergegeven op bijlage 16 de bezwaren grotendeels opgeheven, die met de ontwerpen T5 t/m T8 werden opgeroepen. Van de vijf onderzochte toestanden, die allen nautisch haalbaar zouden zijn, biedt het ontwerp T11 de beste nautische compromisoplossing tussen maximum van de dwarskracht, gradiënt van de dwarskrachtlijn en beschikbare remafstand.



#### 4.2. Invloed van de uitdieping van de vaargeulen.

-----

In deze fase van de studie werd in het bijzonder voor de toestand T11 de invloed nagegaan van de uitdieping van de vaarpassen (Scheur en Pas van het Zand).

##### 4.2.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.

-----

Het situatieplan met de inplanting van de havendammen alsmede het tracé van de vaarpassen, en het lengteprofiel van de havendammen voor de verschillende ontwerpen, worden respectievelijk op de bijlagen 29 en 30 weergegeven. De artificiële zandaanvulling onder een helling van 2% langs de westelijke havendam is ook voor deze toestanden aangebracht.

##### a) ontwerpen T14 en T15.

Het planzicht en het lengteprofiel van beide havendammen zijn voor beide ontwerpen (T14 - T15) dezelfde als bij het ontwerp T11. De Pas van het Zand en het Scheur (westelijk van de lichtenlijn van Zeebrugge) zijn uitgediept tot op cota Z - 15m bij T14 en tot cota Z - 12,5m bij T15, en het Scheur (oostelijk van de lichtenlijn van Zeebrugge) tot op cota Z - 12,5 m bij T14 en T15 (bijlage 29). De bodembreedte bedroeg telkens 500 m en de uitdiepingen geschieden onder een helling van 2%.

##### b) ontwerp T16.

Het plan en het lengteprofiel van de westelijke havendam stemmen overeen met T11, deze van de oostelijke havendam met T13, met dit verschil dat het kopeinde op cota Z - 4m gelegd werd.

De Pas van het Zand en het Scheur zijn dus bij dit ontwerp over de ganse lengte uitgediept tot op cota Z - 12,5m.



c) ontwerp T17.

Bij dit ontwerp is het planzicht van de westelijke havendam in die zin gewijzigd dat de ontwikkelde lengte van de dam kleiner wordt en minder ver in zee reikt zoals weergegeven op de bijlagen 29 en 30. Het lengteprofiel van de westelijke havendam vertoont een wat minder steil verloop dan T13. Het lengteprofiel van de oostelijke havendam komt overeen met T16. De vaarpassen zijn tevens voor dit ontwerp uitgediept tot op cota Z - 12,5m.

4.2.2. Vaststellingen bij de ontwerpen T14 en T15.

4.2.2.1. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.

Voor beide ontwerpen T14 en T15 werden metingen met oppervlaktedrijvers uitgevoerd in de zone begrepen tussen Wenduine en het Zwin tot 10 km uit de kust. De wijzigingen t.o.v. de T0 toestand waargenomen bij T14 en T15 werden vergeleken met deze waargenomen bij het ontwerp T11.

De stroomvoerende sekte onder de kust volgens de doorsnede A - B (bijlage 29), is weergegeven op bijlage 31 ; zoals men kan opmerken wordt de insnoering van de stroomvoerende sekte, teweeggebracht door de havendam, slechts gedeeltelijk gecompenseerd door de uitdieping van de vaarpassen.

a) Vaststelling in de omgeving van de voorhaven.

Het snelheidsverloop in de onmiddellijke nabijheid van de voorhaven verschilt zeer weinig van datgene waargenomen bij T11. Ter illustratie hiervan zijn de stroombanen voor het ontwerp T14 weergegeven zowel voor eb als voor vloed respectievelijk op de bijlagen 32 en 33. De vaststellingen die volgen uit het onderzoek van deze



stroombanen en die verband houden met de uitgestrektheid van de stroomloze zones ten westen van de westelijke havendam en ten oosten van de oostelijke havendam, de stroomconcentraties langs de oostelijke havendam (bij eb) en de kopeinden van beide dammen, en de neervorming tussen de havendammen binnen de onoverstroombare gedeelten zijn in overeenstemming met diegenen die onder 4.1.2.1. werden gemaakt bij het ontwerp T11.

- b) Wijzigingen in de snelheidsgrootte langs de kust oostelijk en westelijk van Zeebrugge.

De werkwijze is dezelfde als onder 3.2.2.1. is uiteengezet ; de resultaten zijn voor de ebstroming op bijlage 34 en voor de vloedstroming op bijlage 35 weergegeven.

De vaststellingen die onder 4.1.2.2. a) en b) werden gemaakt bij de maximale eb- en vloedstroming en betrekking hebben tot het ontwerp T11, blijven geldig voor de ontwerpen T14 en T15.

Wel kan bij eb opgemerkt worden dat in de Wielingen, in een raai loodrecht op de kust ter hoogte van het Zwin, de afname van de stroomsnelheid die werd waargenomen bij T11, minder groot wordt, hoogstwaarschijnlijk te wijten aan de uitdieping van de vaarpassen waardoor de ebstroming gemakkelijker een weg naar de zee vindt. Uit de snelheidsveranderingen in deze raai blijkt ook dat een eventuele wijziging van het tijregime in het Scheldeëstuarium tijdens de eb weinig waarschijnlijk is ; hetgeen echter niet blijkt tijdens de vloed uit beschouwingen in een raai loodrecht op de kust ter hoogte van Blankenberge-Wenduine.

- c) Wijzigingen in de snelheidsgrootte in de vaarpassen.

In het Scheur en de Pas van het Zand is het snelheidsverloop nader bestudeerd. Hiervoor is rekening gehouden met de snelheidsvectoren met beginpunt gelegen in een strook met een breedte van 750 m en met de vaaras als langsas.



De snelheidsvector is ontbonden in twee componenten, de dwarskomponent of komponent loodrecht op de vaaras en de langskomponent of komponent evenwijdig met de vaaras. Op bijlagen 36 en 37 zijn respektievelijk de dwars- en de langskomponent bij eb en op de bijlagen 38 en 39 de dwars- en de langskomponent bij vloed weergegeven. Beide componenten zijn loodrecht op de vaaras "uitgezet", links of rechts, boven of onder de vaarlijn volgens een vooropgestelde tekenkonventie die op de bijlagen zelf is verklaard.

Uit het onderzoek van de snelheid in de vaarpassen kan het volgende vastgesteld worden :

- Tussen de Scheurpas en de ingang tot de vbbrrhaven neemt de dwarskomponent van de snelheid (bijlagen 36 en 38) loodrecht op de lichtenlijn van Zeebrugge zowel bij eb als bij vloed in grootte af t.o.v. de T11 toestand, in functie van de uitdieping. De grootste afname is waar te nemen bij het ontwerp T14 waarbij de vaargeul (Pas van het Zand) is uitgediept tot op cota Z -15 m. Op de langskomponent (bijlagen 37 en 39) zijn geen grote wijzigingen merkbaar.
- Bij eb is in het opwaartse gedeelte van het Scheur groten-deels een lichte toename van de langskomponent van de oppervlaktesnelheid van T14 en T15 t.o.v. T11 waar te nemen (bijlage 37) ; dit bevestigt hogere vaststelling in verband met de lichte toename van de ebstroming in de Wielingen.
- In het afwaartse gedeelte van het Scheur tussen Blankenberge en Knokke zijn zowel bij eb als bij vloed geen grote verschillen in snelheden waar te nemen tussen de ontwerpen T11, T14 en T15 en valt geen vermindering alhier van de snelheidstoename t.o.v. de T0 toestand, ten gevolge de verruiming van de stroomvoerende sekte door het uitdiepen van de vaarpassen, waar te nemen (bijlagen 36 t/m 39). De absolute waarde van die verrui-



ming wordt duidelijk gemaakt op bijlage 31 ; .  
deze is bij vloed bij het ontwerp T14 6 maal  
en bij T15 13 maal kleiner, en bij eb respektievelijk 5 maal en 11 maal kleiner dan de insnoering in die doorsnede teweegebracht door de uitbouw van de havendammen.

Rekening houdend met enerzijds het hoger vastgestelde verband tussen procentuele insnoering t.o.v. T0 en procentuele snelheidstoename t.o.v. T0, die bij T11 beiden bij eb circa 20% en bij vloed circa 25% bedroegen t.o.v. T0, en anderzijds met de absolute waarde van de verruiming kan de invloed van de uitdieping van de vaarpassen op de snelheden niet groot zijn.

#### 4.2.2.2. Vaststellingen op nautisch gebied.

De dwarskrachtenlijnen zijn voor de ontwerpen T11, T14 en T15 weergegeven op bijlage 40 voor het tijdstip 0h40 vbb H. W. Zeebrugge (maximale vloedstroming).

Volgende vaststellingen kunnen hierbij gemaakt worden :

- De maxima van de dwarskrachtenlijnen voor de ontwerpen T14 en T15 verschuiven circa 400 m zee-  
waarts t.o.v. T11 en nemen af in functie van de uitdieping van de vaarpas. Hierdoor zal bij uitdieping tot cota Z - 15m (T14) de invaarsnelheid, die bij T11 8 knopen bedroeg, mogen gereduceerd worden tot 6 à 7 knopen.
- De dwarskrachtgradiënten zijn voor de ontwerpen T14 en T15 dezelfde als voor T11, t.t.z. een afname van de dwarskracht van maximum naar minimum over een afstand van circa 2 km.



- De stroomloze zones (snelheden  $< 0,5$  m/s) binnen de vbbhaven vergroten naargelang de vaargeulen dieper worden. Voor het ontwerp T14 bedraagt de winst aan stroomloze zone t.o.v. T0 meer dan 3 km. Uit het literatuuronderzoek vermeld onder 3.3.1. blijkt deze afstand voldoende te zijn zelfs voor een typetanker van 210.000 D.W.T waarvan de motoren bij het naderingsmanoeuvre "langzaam achteruit" werken.

#### 4.2.3. Vaststellingen bij de ontwerpen T16 en T17.

##### 4.2.3.1. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.

De ontwerpen T16 en T17 werden zoals vroeger eveneens met oppervlaktedrijvermetingen bestudeerd. De wijzigingen t.o.v. de T0 toestand werden onderling vergeleken voor de ontwerpen T15, T16 en T17 - drie ontwerpen waarbij de vaarpassen zijn uitgediept tot op cota Z - 12,5m - om de invloed na te gaan van de kleine wijzigingen, in planzicht en lengteprofiel van de havendammen, die zijn uiteengezet onder 4.2.1. b) en c).

Uit deze metingen is vastgesteld dat voor de beide ontwerpen (T16 en T17) geen merkbare verschillen tussen de wijzigingen t.o.v. T0 konden waargenomen worden bij vergelijking met de wijzigingen t.o.v. T0 waargenomen bij T15, en dit ten westen van een raai loodrecht op de kust ter hoogte van de pier van Blankenberge en ten oosten van een raai loodrecht op de kust ter hoogte van het Casino van Knokke. Daarom zijn de resultaten van deze proeven op de bijlagen 41 t/m 46 enkel tussen de hoger-vermelde raaien weergegeven.



a) Snelheidsverloop.

Op de bijlagen 41 en 42 zijn de stroombanen weergegeven die respektievelijk bij eb en bij vloed voor T16 zijn waargenomen, en op bijlagen 43 en 44 zijn, eveneens bij eb en bij vloed, de stroombanen voor T17 uitgezet.

De uitgestrektheid van de stroomloze zones ten westen van de westelijke dam en ten oosten van de oostelijke havendam, de stroomconcentraties langs de oostelijke havendam (bij eb) en de kopeinden van beide dammen en de grootte van de neer tussen de havendammen nemen af in functie van de overstroombaarheidsgraad van deze laatste.

Zo wordt bij het ontwerp T16 de ebstroming minder ver zee- waarts langs de oostelijke havendam afgebogen dan bij T11, T14 en T15 werd waargenomen. Bij de vloedstroming hebben de stroombanen, ten westen van de westelijke havendam hetzelfde verloop als bij T11, T14 en T15 ; ten oosten van de oostelijke havendam worden ze sneller naar de Oostkust afgebogen dan bij die drie ontwerpen. Deze beide vaststellingen zijn te wijten aan een iets hogere overstroombaarheidsgraad van de oostelijke havendam.

Rond de kopeinden van beide havendammen buigen bij het ontwerp T17 de stroombanen zowel bij eb als bij vloed minder ver zee- waarts af als bij T16 en T15 werd waargenomen.

b) Wijzigingen in snelheidsgrootte.

De wijzigingen in de snelheidsgrootte in de omgeving van de voorhaven worden bij eb en vloed weergegeven respektievelijk op de bijlagen 45 en 46. Deze bijlagen bevestigen de vaststellingen die bij het onderzoek van de stroombanen werden gemaakt.

Doordat bij het ontwerp T17 de stroming minder ver zee- waarts afbuigt rond de kopeinden van de beide havendammen zijn de snelheidstoename en -afname t.o.v. T0 in absolute waarde kleiner dan voor T15 en T16. Bij T16 heeft de invloed van het verlagen van de oostelijke havendam (t.o.v. T15) met behoud van het lengteprofiel van



de westelijke havendam slechts een lokale invloed rond het kopeinde zelf van de oostelijke havendam, invloed welke echter meer uitgesproken is tijdens de eb dan tijdens de vloed.

#### 4.2.3.2. Vaststellingen op nautisch gebied.

De dwarskrachtenlijnen zijn voor de ontwerpen T15, T16 en T17 weergegeven op bijlage 47 voor het tijdstip 0h40 vbb H.W. Zeebrugge (maximale vloedstroming).

Bij deze bijlagen kan het volgende worden vastgesteld :

- Het verloop van de dwarskrachtenlijn voor het ontwerp T16 is volledig gelijkaardig aan dat voor T15 zodat voor T16 dezelfde vaststellingen gelden als die voor T15 onder 4.2.2.2. zijn uiteengezet.
- Bij het ontwerp T17 vermindert het maximum van de dwarskrachtenlijn t.o.v. T15 en T16, verkleint de stroomloze zone tussen de havendammen en blijft de gradiënt ongeveer dezelfde als voor T15 en T16 ; de dwarskrachtenlijn wijst tevens op een nautische gelijkwaardigheid van de toestanden T17 en T13 (bijlage 28), zo voor T13 eveneens wordt rekening gehouden met de invloed van een verdieping van de vaarpassen tot Z - 12,5m, verdieping welke een globale afname van de dwarskracht bij T13 over de ganse lengte van de vaarpas zou medebrengen.



**4.2.4. Conclusies.**

- I. Algemeen blijkt uit dit onderzoek dat de verdieping van de vaargeulen tot respectievelijk Z - 12,5m en Z - 15m, de snelheidswijzigingen, teweeggebracht door de uitbouw met overstroombare havendammen (volgens toestand T11 en T13), slechts zeer weinig kunnen opvangen. Immers de verruiming van de stroomvoerende sekte, door de uitdieping van de vaarpassen, is in verhouding veel kleiner dan de insnoering die door deze overstroombare havendammen is veroorzaakt.
- II. Lokaal treedt, in de vaarpas volgens de lichtenlijn Zeebrugge ingevolge de verdieping van de Pas van het Zand en het Scheur, een vermindering van de snelheidstoename t.o.v. T0 op, hetgeen de dwarskracht en de hiermee gepaard gaande nautische aspecten ten goede komt.



#### 4.3. Invloed van de strandverdediging.

-----

In deze fase van het onderzoek werd voor de toestand T15 (havendammen volgens ontwerp T11 met vaarpassen uitgediept tot op cota Z - 12,5m), de invloed nagegaan van de strandverdediging tussen Heist en de Belgisch-Nederlandse grens.

##### 4.3.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.

Op bijlage 50 wordt het situatieplan weergegeven met de inplanting van de havendammen en de strandkribben, alsmede het tracé van de vaarpassen.

Het planzicht en het lengteprofiel van beide havendammen en de afmetingen van de uitgediepte vaargeulen zijn voor dit onderzoek dezelfde als bij het ontwerp T15 (4.2.1. a)). Langs de westelijke havendam is ook voor deze toestanden een artificiële zandaanvulling onder een helling van 2% aangebracht.

Voor al de onderzochte toestanden zijn de inplantingslijnen van de drie strandkribben noordwest gericht en zodanig gekozen dat de drie kribben gelijkmatig verspreid zijn langs de Belgische kust tussen de oostelijke havendam en de Belgisch-Nederlandse grens (bijlage 48). De worteleinden van de kribben tegen de bestaande dijk zijn op cota Z + 5,0m gelegen.

##### a) ontwerp T18.

Bij dit ontwerp nemen de kruinen van de strandkribben geleidelijk af van cota Z + 5,0m aan het worteleinde tot cota Z + 1,0m aan het kopeinde. In planzicht zijn deze kopeinden op een rechte gelegen, die loopt door de punten met cota Z + 1m op de westelijke en oostelijke havendam.

##### b) ontwerp T19.

Bij dit ontwerp zijn de strandkribben dezelfde als bij het ontwerp T18. Ten westen van de westelijke havendam en ten oosten van de oostelijke havendam, tussen de verschillende strandkribben, zijn zandaanvullingen aangebracht.



Deze verlopen onder een zeer flauwe helling van cota  $Z + 4\text{m}$  tegen de bestaande dijk tot cota  $Z + 1\text{m}$ , hetgeen ongeveer het laagwaterpeil is (bijlage 48) ; vanop cota  $Z + 1\text{m}$  verlopen ze verder zeewaarts onder een helling van circa 2%. De volumes van de zandaanvullingen tussen de kribben en het totaal volume zijn tevens op bijlage 48 vermeld.

c) ontwerp T20.

De zandaanvullingen zijn dezelfde als bij het ontwerp T19, terwijl de strandkribben zeewaarts verlengd worden t.o.v. de ontwerpen T18 en T19, zodanig dat de kopeinden op cota  $Z - 4\text{m}$  gelegen zijn. In planzicht zijn de kopeinden op een rechte gelegen, die ongeveer loopt door de koppen van de westelijke en de oostelijke havendam.

4.3.2. Vaststellingen op waterloopkundig gebied.

De ontwerpen T18, T19 en T20 werden met oppervlaktedrijvermetingen onderzocht. De wijzigingen in snelheidsgrootte t.o.v. de T0 toestand, waargenomen bij deze drie ontwerpen, werden vergeleken met deze waargenomen bij het ontwerp T15. De gebruikte werkmethode is steeds dezelfde en de resultaten zijn voor eb en vloed weergegeven respectievelijk op de bijlagen 49 en 50.

a) Vaststellingen bij maximale ebstroming (bijlage 49).

- In de stroomloze zone ten oosten van de oostelijke havendam zal voor T19 en T20 het gevaar tot aanslibbing verdwijnen omwille van de artificiële zandaanvulling die reikt tot boven het laagwaterpeil.
- Langsheen de stranden van Knokke-Heist zijn voor de drie ontwerpen zones met grote snelheidsafnamen waar te nemen.



- In het Scheur en de Wielingen, ten oosten van het westelijk uiteinde van de Bol van Heist is, bij vergelijking van de ontwerpen T15 en T18, een toename van de algebraïsche waarde van de snelheidsverandering t.o.v. T0 waar te nemen voor T18. Dit is te wijten aan de insnoering van de stroomvoerende sectie onder de kust tussen het Zwin en Zeebrugge door het uitbouwen van de strandkribben.

Bij een gelijkaardige vergelijking van de ontwerpen T18 en T19 zijn geen grote verschillen waar te nemen.

Tenslotte is bij vergelijking van de ontwerpen T20 en T19 (of T18) eenzelfde toename van de algebraïsche waarde van de snelheidsverandering t.o.v. T0 waar te nemen, als deze die tussen T15 en T18 werd waargenomen, eveneens te wijten aan de toenemende insnoering van de stroomvoerende sectie door het verlengen van de strandkribben.

b) Vaststellingen bij maximale vloedstroming (bijlage 50).

- In de stroomloze zone ten westen van Zeebrugge en langsheen de kust ten oosten van Zeebrugge zijn bij de toestanden T18, T19 en T20 in vergelijking met T15 geen gevoelige wijzigingen waar te nemen.

Deze vaststelling is ook geldig in het Scheur en Wielingen en in de nabijheid van de vbbhaven.

4.3.3. Vaststellingen op nautisch gebied.

De dwarskrachtenlijnen zijn voor de ontwerpen T11, T15, T18, T19 en T20 weergegeven op bijlage 51 voor het tijdstip 0h40 vbb H.W. Zeebrugge (maximale vloedstroming). Hierbij kan vastgesteld worden dat het verloop van de dwarskrachtenlijnen voor de toestanden T18, T19 en T20 globaal overeenkomt met dit van T15, zodat de nautische vaststellingen die bij T15 werden gemaakt ook gelden voor T18, T19 en T20. De lokale merkbare verschillen, zoals bijvoor-



beeld het verschil in maximum van de dwarskracht buiten de haventoeegang, zijn aan modeltechnische factoren te wijten.

#### 4.3.4. Conclusies.

- I. Op waterloopkundig gebied betekent de uitbouw van drie lange strandkribben en de ophoging van het strand ertussen tot boven het laagwaterpeil (bijlage 48), een verbetering voor de Oostkust. De sterke ebstroming, in de huidige toestand in de Appelzak geconcentreerd, zal bij de uitbouw volgens de toestanden T18, T19 en vooral T20 eerder in het Scheur en de Wielingen geconcentreerd worden. Hier zullen ook door de grotere snelheidstoename de materiaalverplaatsingen bij eb belangrijker worden dan in de ontwerpen zonder strandverdediging. In een volgend hoofdstuk (5. Enkele beschouwingen in verband met het materiaaltransport.) zullen hierover nog nadere beschouwingen gemaakt worden.
- II. De nautische conclusie die onder 4.2.4. werd gemaakt voor het ontwerp T15 wordt door het aanbrengen van de strandverdediging in geen opzicht gewijzigd of beïnvloed.



#### 4.4. Invloed van de uitdieping van de vaargeulen zonder uitbouw van de havendammen.

-----

In deze fase van het onderzoek werd nagegaan in welke mate de huidige toestand verbeterd wordt door enkel de vaarpassen uit te diepen.

##### 4.4.1. Beschrijving van de uitgevoerde proeven.

De Pas van het Zand en het Scheur (westelijk van de lichtenlijn van Zeebrugge) zijn uitgediept tot op cota Z - 12,5m bij T21 en tot cota Z - 15,0m bij T22, en het Scheur (oostelijk van de lichtenlijn van Zeebrugge) tot op cota Z - 12,5m bij T21 en T22, zoals weergegeven op bijlage 52. Zoals voor de ontwerpen onder 4.2. zijn de vaargeulen ook hier uitgediept met een bodembreedte van 500m en onder een helling van 2%.

##### 4.4.2. Vaststellingen bij de uitgevoerde proeven.

In het Scheur en de Pas van het Zand is het snelheidsverloop nader bestudeerd en uitgewerkt op dezelfde wijze als onder 4.2.2.1. c) is uiteengezet. De dwars- en de langskomponent bij eb zijn respektievelijk op de bijlagen 53 en 54 weergegeven, en de overeenkomstige componenten bij vloed respektievelijk op de bijlagen 55 en 56.

Hierij kunnen volgende vaststellingen gemaakt worden :

- Tussen de Scheurpas en de ingang van de bestaande haven van Zeebrugge is een afname van de dwarskomponent van de snelheid waar te nemen in functie van de uitdieping, die echter minder opvallend is bij eb (bijlage 53) dan bij vloed (bijlage 55). Deze snelheidsafname werkt zich in dezelfde zin uit op het verloop van de dwarskracht dat voor het ogenblik van maximale vloedstroming (0h40 vóór H.W. Zeebrugge) op bijlage 57 wordt weergegeven. Dit zou ten aanzien van de huidige toestand T0 een verbetering betekenen



op nautisch gebied.

Op de langskomponent (bijlagen 54 en 56) zijn geen merkbare wijzigingen waarneembaar.

- In het Scheur is een tendens tot toename van de langskomponent van de oppervlaktesnelheid waar te nemen t.o.v. T0, en dit zowel bij eb (bijlage 54) als bij vloed (bijlage 56). Dit zou te wijten zijn aan de uitdieping van de vaarpassen waardoor de eb- en de vloedstroming zich meer zou gaan concentreren in deze geulen.  
Op de dwarskomponent (bijlagen 53 en 55) treden in het Scheur geen merkbare wijzigingen op.

#### 4.4.3. Conclusies.

- I. Zoals blijkt uit hogere vaststellingen zullen op waterloopkundig gebied, buiten een grotere stroomconcentratie en lichte steiging der snelheden t.o.v. T0 in de Pas van het Scheur, geen grote wijzigingen te verwachten zijn ten gevolge van de uitdieping van het Scheur ten oosten van Zeebrugge tot op cota Z -12,5 m, en de uitdieping van het Scheur ten westen van Zeebrugge alsmede de Pas van het Zand tot op cota Z -12,5 of cota Z -15 m.
- II. Op nautisch vlak zou een dergelijke uitdieping van de Pas van het Zand een verbetering inhouden, ingevolge de afname der dwarssnelheden en de daaruit voortvloeiende dwarskrachten.



## 5. ENKELE BESCHOUWINGEN IN VERBAND MET DE MOGELIJKE MATERIAALVERPLAATSINGEN.

---

In de hoofdstukken 3 en 4 werden de verschillende ontwerpen T5 t/m T22 waterloopkundig en nautisch beoordeeld in functie van :

- 1° de optredende wijzigingen in de snelheidskomponenten (grootte en richting) t.o.v. de bestaande toestand T0
- 2° de dwarskracht door het water uitgeoefend op een schip dat de haven van Zeebrugge (nieuwe toestand) binnenvaart met zijn langsas parallel met de lichtenlijn van Zeebrugge.

Steunend op de bevindingen en conclusies van het onderzoek onder 3. en 4. is in deze fase van de studie voor enkele ontwerpen nagegaan welke bodemevoluties en materiaalverplaatsingen zouden kunnen verwacht worden ingevolge de uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge.

### 5.1. Onderzochte ontwerpen.

-----

De drie ontwerpen die bij dit onderzoek betrokken worden zijn de ontwerpen T11 en T13 (twee ontwerpen met geleidelijk overstroombare havendammen) en het ontwerp T20 (ontwerp met havendammen volgens T11, uitgediepte vaargeulen tot op cota Z - 12,5m en strandverdediging langs de Oostkust). De beschrijving van de ontwerpen T11 en T13 vindt men in de tekst onder 4.1.1. a) en c) en op de bijlagen 2 en 16, en van T20 onder 4.3.1. c) en op bijlage 48.

### 5.2. Berekeningsmethode.

-----

De gebruikte rekenmethode steunt op de hypothese dat de te verwachten bodemevoluties en materiaalverplaatsingen rechtevenredig zijn met de wijzigingen van de snelheidsgrootte t.o.v. de bestaande toestand T0, hierbij werd geen rekening gehouden met de bodemsamenstelling.

De berekening werd uitgevoerd voor het gedeelte van het Scheur en de Wielingen tussen de Wandelaar en de Bol van Knokke, waarin metingen met oppervlakedrijvers werden uitgevoerd, zone tevens gelegen binnen de dieptelijnen Z - 7,5m. Deze zone werd in een aantal vakken verdeeld zoals is weergegeven op de bijlagen 58, 59 en 60.



Voor ieder vak beschikt men over volgende gegevens :

- $\Omega$  : de oppervlakte van het vak.
- $h_o$  : de gemiddelde waterdiepte voor het vak, waarbij voor de drie ontwerpen T11, T13 en T20 wordt gerekend met de bodemconfiguratie van de huidige toestand T0.
- $v_o$  : de gemiddelde oppervlaktesnelheid voor dit vak waargenomen bij de toestand T0 (berekend zoals uiteengezet onder 3.2.2.1.).
- $v_x$  : de gemiddelde oppervlaktesnelheid voor dit vak waargenomen bij een bepaalde toestand Tx (in het bijzonder T11, T13 en T20).

Men veronderstelt nu dat zich een nieuwe dynamische evenwichtstoestand van de zeebodem zal instellen, nadat een bepaalde evenwichtsdiepte bereikt wordt, die kan benaderd worden door hierna volgende vergelijking :

$$\frac{h_x}{h_o} = \frac{v_x}{v_o}$$

$$h_x = \frac{v_x}{v_o} h_o$$

De te verwachten verdieping of verontdieping is :

$$\Delta h = h_x - h_o$$

$$\text{of } \Delta h = \left( \frac{v_x}{v_o} - 1 \right) h_o$$

Het volume materiaal dat zou moeten verplaatst worden om tot de evenwichtstoestand te komen wordt berekend uit volgende vergelijking :

$$\Delta V = \Omega \cdot \Delta h$$

$$\text{of } \Delta V = \Omega \cdot h_o \cdot \left( \frac{v_x}{v_o} - 1 \right)$$



Men veronderstelt dat  $\Delta h$  positief is wanneer het een verdieping betreft en negatief wanneer het een verontdieping betreft, terwijl een positieve waarde voor  $\Delta V$  een uitschuring betekent en een negatieve waarde een aanzanding.

### 5.3. Vaststellingen op sedimentologisch gebied.

-----

De resultaten van de rekenmethode uiteengezet onder 5.2. zijn voor de maximale ebstroming (5h30 na H.W. Zeebrugge) en maximale vloedstroming (0h40 vbb H.W. Zeebrugge) weergegeven op de bijlage 58 voor T11, de bijlage 59 voor T13 en de bijlage 60 voor T20. De waarden die links in het vak zijn geschreven betekenen de gemiddelde verdieping of verontdieping in m uitgedrukt; de waarden rechts in het vak drukken de gemiddelde materiaalverplaatsingen uit in  $10^3 \times m^3$ . De waarden in recht schrift hebben betrekking op de eb, in cursief schrift op de vloed. De te verwachten materiaalverplaatsingen in zones (genummerd van 1 t/m 6) begrepen tussen twee X coördinaatassen werden gesommeerd en op de bijlagen weergegeven zowel voor eb als voor vloed.

Volgende vaststellingen kunnen gemaakt worden :

- Voor de toestand T11 (bijlage 58) zouden, volgens deze rekenmethode, in het Scheur en de Wielingen tussen de Wandelaar en de Bol van Knokke bij maximale vloedstroming circa 106 miljoen  $m^3$  en bij maximale ebstroming circa 54 miljoen  $m^3$  kunnen verplaatst worden. Ten westen van het oostelijk havenhoofd (coördinaat 69.000) zou er evenwicht bestaan tussen de te verwachten materiaalverplaatsingen bij eb en vloed, terwijl er ten oosten van dit havenhoofd een aanzienlijk vloedoverschot van circa 52 miljoen  $m^3$  is waar te nemen. Deze grote materiaalverplaatsingen kunnen het behoud van de vaarpassen in het zuidelijk deel van het estuarium ongunstig beïnvloeden, bovendien kan door het vloedoverschot de toevoer van vaste stoffen vanuit de zee naar de Westerschelde toe geaccentueerd worden.
- Voor de toestand T13 (bijlage 59) zouden in de Scheur-Wielingen bij maximale vloedstroming 77 miljoen  $m^3$  en bij maximale ebstroming 47 miljoen  $m^3$  kunnen verplaatst worden. Ook bij dit ontwerp bestaat ten westen van de oostelijke havendam een evenwicht tussen de ma-



teriaalverplaatsingen bij eb en vloed, die in volume, in absolute waarde uitgedrukt, circa 20 miljoen  $m^3$  kleiner zijn dan bij toestand T11, hetgeen te wijten is aan de grotere overstroombaarheidsgraad van het ontwerp T13. Een vloedoverschot waarvan sprake bij T11 blijft hier gelden maar bedraagt nu slechts circa 35 miljoen  $m^3$  i.p.v. 52 miljoen  $m^3$ . Uit sedimentologisch oogpunt is T13 dus gunstiger dan T11.

- Tenslotte zouden voor het ontwerp T20 (bijlage 60) in de Scheur-Wielingen een totaal volume van 130 miljoen  $m^3$  bij eb en 114 miljoen  $m^3$  bij vloed verplaatst worden. Dit betekent bij eb een aanzienlijke toename t.o.v. T11, te wijten aan het aanbrengen van de strandverdediging waardoor tijdens de eb de stroomvoerende sectie onder de kust tussen Zeebrugge en het Zwin wordt ingesnoerd. Men vindt voor dit ontwerp een evenwicht tussen de verplaatsingen bij eb en vloed ten oosten van het westelijk havenhoofd, terwijl er ten westen van dit havenhoofd zelfs een eboverschot zou optreden. Dit zou betekenen dat met een gepaste uitbouw van de Oostkust met strandhoofden en artificiële ophoging het nodige evenwicht tussen de materiaalverplaatsingen bij vloed en eb kan bekomen worden.



## 6. ALGEMENE CONCLUSIES.

---

1. De zeebodem in het Scheldeëstuarium verkeert in een zeker dynamisch evenwicht van zich met de vloed- en ebstromingen heen en weer bewegende grote hoeveelheden vaste stoffen ; door kunstmatige ingrepen mogen de door beide stromingen verplaatste hoeveelheden enerzijds niet te fel toenemen en anderzijds elkaar niet te fel ontlopen. Bij de uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge moet er verder voor gezorgd worden dat een nieuwe evenwichtstoestand ontstaat zonder dat ergens anders daardoor ongewenste toestanden ontstaan.
2. Uit waterloopkundige en sedimentologische overwegingen lijkt van al de onderzochte toestanden een uitbouw met lage gedeeltelijk overstroombare havendammen - T13, T17 - de meeste voorkeur te genieten : hooggelegen gedeeltelijk overstroombare of onoverstroombare havendammen zijn er de oorzaak van dat over een groot gebied in de omgeving van de voorhaven en in de passen Scheur - Wielingen grote stroomtoename optreden, zowel tijdens de eb als tijdens de vloed, welke het dynamisch evenwicht van de zeebodem van het estuarium dermate zou kunnen verstoren, dat enerzijds het behoud van de vaarpassen in het estuarium zelve zou in gevaar kunnen gebracht worden, en dat anderzijds het resulterende zandtransport naar de Westerschelde zich zou kunnen accentueren.
3. Om een dynamisch evenwicht van de zeebodem in de passen Wielingen - Scheur tussen vloed en eb in de nieuwe toestand te bewerkstelligen is een uitbouw van de Oostkust met strandhoofden met daartussen artificiele zandopvulling noodzakelijk (cfr. T20). Alvorens de uitbouw van de voorhaven van Zeebrugge met lage overstroombare dammen aan te vangen zou reeds met deze uitbouw van de Oostkust moeten begonnen zijn.
4. Bij hooggelegen gedeeltelijk overstroombare of onoverstroombare havendammen bestaat de kans dat het tijregime in het Scheldeëstuarium wijzigingen ondergaat welke volgens de modelproeven zou bestaan in een afname van de tijvermogens langs de zuidelijke toegangsweg tot de Westerschelde.  
Bij laaggelegen gedeeltelijk overstroombare dammen - T13, T17 - lijkt dit gevaar uitgesloten.



5. *is hiervan bewijs* Uitdieping van de Pas van het Scheur en de Pas van het Zand tot Z - 12,5m of zelfs uitdieping tot Z - 15,0m van de Pas van het Zand en de Pas van het Scheur westelijk van de lichtenlijn van Zeebrugge brengt in het algemeen geen merkbare wijziging mede in het algemeen stromingspatroon.  
In de Pas van het Zand heeft deze verdieping daarentegen wel een afname der dwarssnelheden voor gevolg wat nautisch gezien gunstig is.
6. Stroomloze zones ontstaan langs de kust juist oost- en westelijk van de havendammen, hetgeen ter hoogte van Heyst aanleiding zal geven tot slibafzettingen, gezien deze plaats beschermd ligt tegen de overheersende golfrichting, zo niet voorafgaandelijk tot artificiële zandophoging is overgegaan. Westelijk van Zeebrugge zal daarentegen een natuurlijke aanzanding ontstaan.
7. Uit nautische overwegingen gaat de voorkeur tevens uit naar laaggelegen gedeeltelijk overstroombare havendammen daar bij hooggelegen gedeeltelijk overstroombare dammen rond het ogenblik van hoogwater de dwarskrachten alsmede de dwarskrachtgradiënten zodanig groot gaan uitvallen dat de scheepvaart rond dat tijdstip problematisch wordt en deze verplicht zou zijn de tijdstippen van stroomkentering t.t.z. middenzeestand te bezigen wat een extra uitdieping van de vaarpassen met twee à twee en een halve meter zou vergen.
8. De kruinhoogte der laaggelegen gedeeltelijk overstroombare dammen moet uit nautische overwegingen geleidelijk aflopen van het worteleinde naar het kopeinde toe om zodoende geen al te grote dwarskrachtgradiënten in de dwarskrachtenlijnen op te leveren en waarbij niet uit het oog mag verloren worden dat nog voldoende remafstand beschikbaar blijft. Wat dit betreft lijkt van de onderzochte toestanden de situatie T11 de meest aantrekkelijke waar de toestanden T13 en T17 nog als een nautisch aanvaardbare oplossing kunnen gelden.
9. Rekening houdend met de vaststellingen gedaan bij de ijking van het model in verband met de overeenkomst model - prototype bestaat de kans dat hogervermelde wijzigingen en vaststellingen waargenomen op het



model nog enigszins kunnen onderschat zijn in vergelijking met wat in de werkelijkheid in het prototype te verwachten is.

10. De doelmatigheid van lage grotendeels overstroombare havendammen, met het oog op de te verwachten materiaalafzettingen in de Pas van het Zand, dient verder te worden onderzocht niet alleen door modelstudie en berekeningen maar ook door prototypemetingen en dit laatste voor de huidige situatie met betrekking tot de samenstelling van het materiaal en het materiaaltransport (bodem - en zwevend transport) in de omgeving en in de Pas van het Zand en dit onder verschillende tij- en weersomstandigheden.

In dit verband is het van groot belang, om over de doelmatigheid van lage overstroombare havendammen een uitspraak te kunnen doen, te weten in hoeverre de aanzanding van de Pas van het Zand, thans uitsluitend zou te wijten zijn aan het bodemtransport zoniet in welke mate hiervoor tevens het zwevend transport aansprakelijk kan gesteld worden. Hieronder wordt, uitgaande van de formule van BIJKER (\*) voor bodem- en zwevend transport buiten de brandingszone, door een eenvoudig rekenvoorbeeld het onderlinge verband tussen beide transporten duidelijk geïllustreerd in hierna volgende hypothesen :

Formule voor bodemtransport :

$$S_b = b D \frac{v}{C_h} g^{1/2} \exp \left[ \frac{-0.27 \Delta D C^2}{\mu v^2 (1 + 1/2 (\xi \frac{u_o}{v})^2)} \right]$$

met  $\exp [x] = e^x$

en waarin  $b = 5$  gesteld wordt.

Formule voor zwevend transport :

$$S_s = 1,83 \times S_b \times (I_1 \ln \frac{33h}{k} + I_2)$$

waarin  $k$  = ribbelhoogte en  $h$  = waterdiepte.

---

(\*) 1) Dr. Ir. E.W. BIJKER : Some considerations about scales for coastal models with movable bed.

Delft Hydraulics Laboratory - publ. no. 50 - 1967.

2) Ir. M.A.M. de RAS : Grafieken ter bepaling van het zandtransport door golven en getij buiten de brandingszone langs de Noordzeekust samengesteld m.b.v. methode BIJKER - Studierapport W.W.K. 70-15

Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging - Afdeling Kustonderzoek.



$$I_1 = 0,216 \frac{\left(\frac{k}{h}\right)^{z-1}}{\left(1 - \frac{k}{h}\right)^z} \int_{k/h}^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^z dy$$

en  $I_2 = 0,216 \frac{\left(\frac{k}{h}\right)^{z-1}}{\left(1 - \frac{k}{h}\right)^z} \int_{k/h}^1 \left(\frac{1-y}{y}\right)^z \ln y dy$

hierin is :  $z = \frac{w}{\kappa v_*'}$

$w$  = valsnelheid korrel

$\kappa$  = constante van von Kármán

$$v_*' = \frac{v}{C_h} \sqrt{g \left(1 + 1/2 \left(\xi \frac{u_o}{v}\right)^2\right)}$$

### Hypothesen :

Gemiddelde korreldiameter  $200 \mu$  met  $D_{90} = 260 \mu$  en ribbelhoogte  $k = 7 \text{ cm}$

$$\Delta = \frac{\rho_{\text{zand}} - \rho_{\text{water}}}{\rho_{\text{water}}} = 1,65, \quad w = 0,023 \text{ m/s en } \kappa = 0,4.$$

Twee golfhoogten worden in de beschouwing betrokken :

1e geval : hoogte invallende golf  $H_0 = 0,50 \text{ m}$  met periode  $T = 5 \text{ s}$  en golflengte  $L_0 = 39 \text{ m}$ .

2e geval : hoogte invallende golf  $H_0 = 2,00 \text{ m}$  met periode  $T = 6 \text{ s}$  respektievelijk  $8 \text{ s}$  en golflengte  $L_0 = 56 \text{ m}$  respektievelijk  $100 \text{ m}$ .



- a) Waterdiepte  $h = 10$  m en gemiddelde stroomsnelheid  $v = 1$  m/s onder hogervermelde hypothesen :

	<u>1e geval</u>	<u>2e geval</u>
Bodemtransport( $m^3/s/m^1$ )	$2,8 \times 10^{-5}$	$4,2 \times 10^{-5}$ resp. $4,5 \times 10^{-5}$
Zwevend transport( $m^3/s/m^1$ )	$2,3 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-3}$ resp. $1,7 \times 10^{-3}$

Dit geeft een verhouding  $\frac{\text{bodemtransport}}{\text{zwevend transport}} \approx 1/8$  voor het 1e geval  
 $\approx 1/26 - 1/38$  voor het 2e geval.

Zoals men verder kan opmerken verschilt het bodemtransport in beide gevallen weinig, daarentegen is het zwevend transport in het 2e geval circa 6 maal groter dan in het 1e geval.

- b) Voor een waterdiepte  $h = 15$  m en een gemiddelde stroomsnelheid  $v = 1$  m/s en de andere hogervermelde hypothesen aanhoudend, worden deze waarden respektievelijk :

	<u>1e geval</u>	<u>2e geval</u>
Bodemtransport( $m^3/s/m^1$ )	$2,4 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5} - 3,8 \times 10^{-5}$
Zwevend transport( $m^3/s/m^1$ )	$1,8 \times 10^{-4}$	$0,5 \times 10^{-3} - 10^{-3}$

Opvallend voor het 2e geval is hier een afname van het zwevend transport met ongeveer de helft voor  $h = 15$  m t.o.v.  $h = 10$  m waar de andere waarden zich relatief minder hebben gewijzigd.

- c) Voor een waterdiepte  $h = 15$  m en een gemiddelde stroomsnelheid  $v = 0,75$  m/s en de andere hogervermelde hypothesen aanhoudend, wordt dit nu :

	<u>1e geval</u>	<u>2e geval</u>
Bodemtransport( $m^3/s/m^1$ )	$10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5} - 2,7 \times 10^{-5}$
Zwevend transport( $m^3/s/m^1$ )	$0,36 \times 10^{-4}$	$0,22 \times 10^{-3} - 0,55 \times 10^{-3}$

Hieruit blijkt duidelijk dat een toename der waterdiepten van  $h = 10$  m naar 15 m en een afname der stroomsnelheid van  $v = 1$  m/s naar 0,75 m/s, het bodemtransport tot circa  $1/3$  à  $1/2$  en het zwevend transport tot circa  $1/6$  à  $1/4$  van hun oorspronkelijke waarden (bij  $h = 10$  m en  $v = 1$  m/s) terugvallen.

x

x

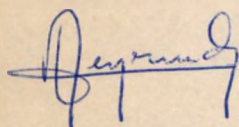
x



De toestanden T11, T13 en T17 (met en zonder artificiële uitbouw van de Oostkust, door strandkribben en artificiële zandopvulling ertussen) dienen in allereerste instantie verder onderzocht met het oog op hun doelmatigheid in verband met de te verwachten materiaalafzettingen in de Pas van het Zand.

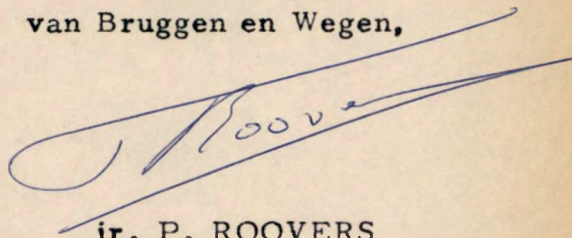
Borgerhout, november 1974.

De tijdelijke ingenieur  
belast met de studie,



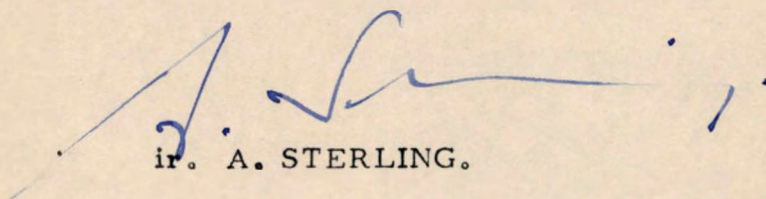
ir. L. NEYRINCK

De Hoofdingenieur-Directeur  
van Bruggen en Wegen,



ir. P. ROOVERS

De Hoofdingenieur-Directeur van Bruggen en Wegen,  
Directeur van het Waterbouwkundig Laboratorium,



ir. A. STERLING.



EDITIE:

---

**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**

---

BERCHEMLEI 115  
2200 BORGERHOUT  
BELGIE  
TELEFOON 03/36.18.50



rijkswaterstaat

dienst getijdewateren

nr.

C-9264/2

bibliotheek

910

W KUNDIG  
LABORATORIUM 1974

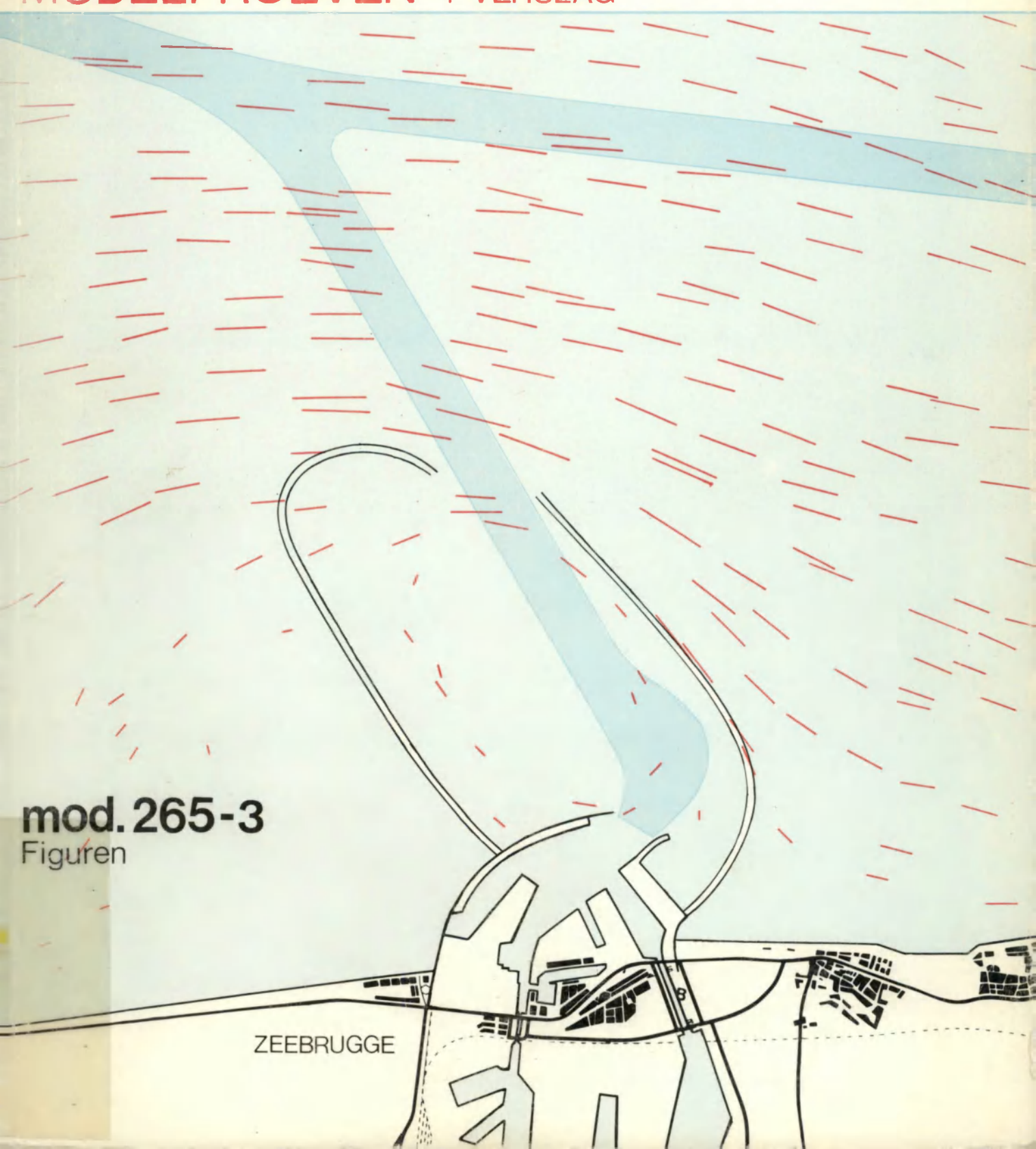
# MODEL VAN DE KUST EN HET SCHELDEESTUARIUM

## MODELPROEVEN 1<sup>e</sup> VERSLAG

mod. 265-3

Figuren

ZEEBRUGGE





IZ (VZW)  
LAAMS INSTITUUT VOOR DE ZEE  
LANDERS MARINE INSTITUTE  
ende - Belgium

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**  
**borgerhout - antwerpen**

69422

MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN  
BRUGGEN EN WEGEN  
BESTUUR DER WATERWEGEN





MODEL VAN DE KUST EN HET  
SCHELDEESTUARIUM.  
MODELPROEVEN 1e VERSLAG.

MOD. 265-3.

FIGUREN.



# LIJST DER BIJLAGEN.

-----

rijkswaterstaat  
dienst getijdewateren  
bibliotheek  
grenadiersweg 31 -  
4338 PG middelburg

## 1. OPDRACHTOMSCHRIJVING.

- |   |  |               |
|---|--|---------------|
| 1 | Schematisch voorstel uitbouw voorhaven van Zeebrugge en normalisatie Scheldemonding. | W.L. 72.192/1 |
|---|--|---------------|

## 2. UITGEVOERDE METINGEN BIJ DE VERSCHILLENDE ONDERZOCHE TOESTANDEN.

## 3. ONDERZOEK IN GLOBO.

- |    |   |             |
|----|---|-------------|
| 2  | Situatieplan met inplanting van de havendammen.   | W.L. 74.095 |
| 3. | Overzicht van de proeven (T5, T6, T7 & T8).<br>Havendammen : Plattegrond en lengteprofiel.  | 74.096      |
| 4  | Metingen met oppervlakedrijvers.<br>Vergelijking T0 - T5.<br>Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.     | 74.098      |
| 5  | Metingen met oppervlakedrijvers.<br>Vergelijking T0 - T5.<br>Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge. | 74.101      |
| 6  | Metingen met oppervlakedrijvers<br>Vergelijking T0 - T6.<br>Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.      | 74.099      |
| 7  | Metingen met oppervlakedrijvers.<br>Vergelijking T0 - T6.<br>Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge. | 74.102      |
| 8  | Metingen met oppervlakedrijvers.<br>Vergelijking T0 - T7.<br>Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge. | 74.103      |
| 9  | Metingen met oppervlakedrijvers.<br>Vergelijking T0 - T8.<br>Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge. | 74.104      |



10	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. (T5 & T6) Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	W.L. 74.105
11	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. (T5, T6, T7 & T8) Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.106
12	Snelheidsprofielen (T0, T5 & T6). Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.190
13	Snelheidsprofielen (T0, T5, T6, T7 & T8) Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.191
14	Dwarskrachtlijnen (T0, T5, T6, T7 & T8). Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.107
15	In- en uitvaarmanoeuvre van de schepen.	74.418

#### 4. GELEIDELIJK OVERSTROOMBARE HAVENDAMMEN.

##### 4.1. Detailonderzoek van het lengteprofiel van de havendammen.

16	Overzicht van de proeven (T5, T9, T10, T11, T12, T13). Havendammen : Plattegrond en lengteprofiel.	74.177
17	Metingen met oppervlaktedrijvers. Vergelijking T0 - T11. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.196
18	Metingen met oppervlaktedrijvers. Vergelijking T0 - T11. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.197
19	Metingen met oppervlaktedrijvers. Vergelijking T0 - T13. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.423



20	Metingen met oppervlaktedrijvers. Vergelijking T0 - T13. Vloed 0h40 vóór H.W. Zeebrugge.	W.L. 74.424
21	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T9, T10, T11, T12 & T13. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.178
22	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T9, T10, T11, T12 & T13. Vloed 0h40 vóór H.W. Zeebrugge.	74.179
23	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T5, T6, T11 & T13. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.180
24	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T5, T6, T8, T11 & T13. Vloed 0h40 vóór H.W. Zeebrugge.	74.181
25	Snelheidsprofielen T0, T9, T10, T11, T12 & T13. Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.192
26	Snelheidsprofielen T0, T9, T10, T11, T12 & T13. Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Vloed 0h40 vóór H.W. Zeebrugge.	74.193
27	Dwarskrachtlijnen T0, T9, T10, T11, T12 & T13. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.425
28	Dwarskrachtlijnen T0, T9, T10, T11, T12 & T13 Vloed 0h40 vóór H.W. Zeebrugge.	74.176



4.2. Invloed van de uitdieping der vaargeulen.

29	Situatieplan met inplanting van de havendammen en W.L. de vaargeulen.	74.204
30	Overzicht van de proeven (T13), T14, T15, T16, T17. Havendammen : plattegrond en lengteprofiel.	74.384
31	Dwarsprofiel. (Westelijke havendam - verdiepte vaargeul).	74.203
32	Metingen met oppervlakedrijvers. Vergelijking T0 - T14. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.426
33	Metingen met oppervlakedrijvers. Vergelijking T0 - T14. Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge.	74.427
34	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T11, T14, T15. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.198
35	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T11, T14, T15. Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge.	74.199
36	Snelheidsprofielen T0, T11, T14, T15. Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.380
37	Snelheidsprofielen T0, T11, T14, T15. Langskomponente van de oppervlaktesnelheid. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.381
38	Snelheidsprofielen T0, T11, T14, T15. Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Vloed 0h40 vbb H.W. Zeebrugge.	74.382



39	Snelheidsprofielen T0, T11, T14, T15. Langskomponente van de oppervlaktesnelheid. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	W.L. 74.383
40	Dwarskrachtlijnen T0, T11, T14, T15. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.194
41	Metingen met oppervlakedrijvers. Vergelijking T0 - T16. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.428
42	Metingen met oppervlakedrijvers. Vergelijking T0 - T16. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.429
43	Metingen met oppervlakedrijvers. Vergelijking T0 - T17. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.430
44	Metingen met oppervlakedrijvers. Vergelijking T0 - T17. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.431
45	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T15, T16, T17. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.389
46	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T15, T16, T17. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.390
47	Dwarskrachtlijnen T0, T15, T16, T17. Vloed 0h40 vbbbr H.W. Zeebrugge.	74.391



4.3. Invloed van de Strandverdediging langs de Oostkust.

48	Situatieplan met inplanting van de havendammen, de vaargeulen en de strandkribben.	W.L. 74.392
49	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T15, T18, T19 & T20. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.399
50	Snelheidsverandering in % t.o.v. T0. T15, T18, T19 & T20. Vloed 0h40 vbbv H.W. Zeebrugge.	74.400
51	Dwarskrachtlijnen. T0, T11, T15, T18, T19, T20. Vloed 0h40 vbbv H.W. Zeebrugge.	74.401

4.4. Invloed van de uitdieping van de vaargeulen zonder uitbouw van de havendammen.

52	Situatieplan met inplanting van de vaargeulen zonder havendammen.	74.432
53	Snelheidsprofielen T0, T21, T22 Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.412
54	Snelheidsprofielen T0, T21, T22 . Langskomponente van de oppervlaktesnelheid. Eb 5h30 na H.W. Zeebrugge.	74.413
55	Snelheidsprofielen T0, T21, T22 . Dwarskomponente van de oppervlaktesnelheid. Vloed 0h40 vbbv H.W. Zeebrugge.	74.414
56	Snelheidsprofielen T0, T21, T22 . Langskomponente van de oppervlaktesnelheid. Vloed 0h40 vbbv H.W. Zeebrugge.	74.415
57	Dwarskrachtlijnen T0, T21, T22 . Vloed 0h40 vbbv H.W. Zeebrugge.	74.402



5. ENKELE BESCHOUWINGEN IN VERBAND MET HET MATERIAAL-  
TRANSPORT.

---

58	Potentieel materiaaltransport. T11 t.o.v. T0. Eb (H.W. + 5h30) en vloed (H.W. - 0h40).	W.L. 74.433
59	Potentieel materiaaltransport. T13 t.o.v. T0. Eb (H.W. + 5h30) en vloed (H.W. - 0h40).	74.434
60	Potentieel materiaaltransport. T20 t.o.v. T0. Eb* (H.W. + 5h30) en vloed (H.W. - 0h40).	74.435



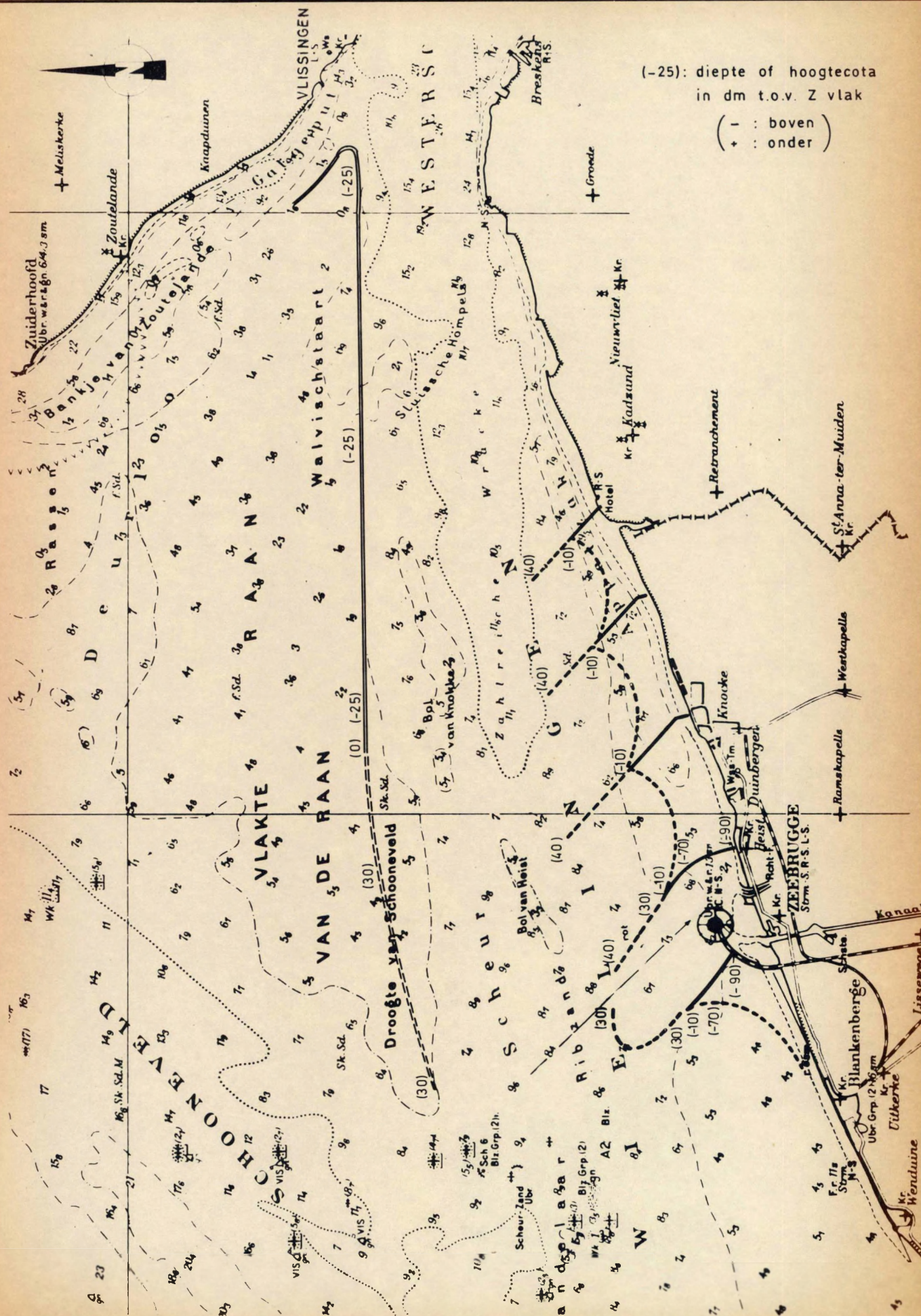




SCHAAL

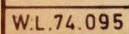
0 1 2 3 4 5 km

SCHEMATISCH VOORSTEL UITBOUW VOORHAVEN  
VAN ZEEBRUGGE EN NORMALISATIE SCHELDEMONDING





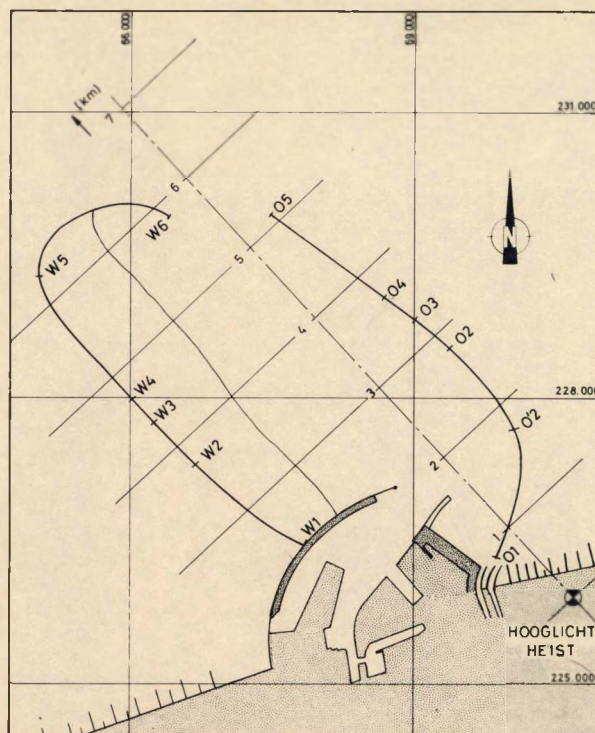
Dieptelijnen in  
m t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie





OVERZICHT VAN DE PROEVEN T5-T6-T7 en T8  
HAVENDAMMEN: PLATTEGROND en LENGTEPROFIEL

PLATTEGROND



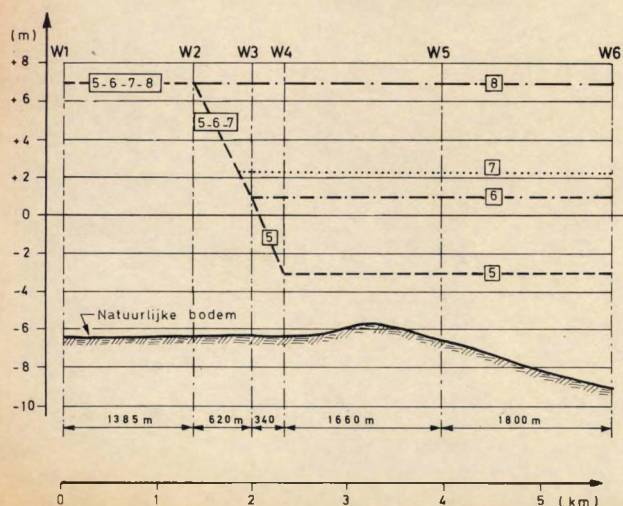
KRUIHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. Z vlak

	T 5	T 6	T 7	T 8
W 1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
W 2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
W 3	+ 1	+ 1	+ 2,5	+ 7
W 4	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
W 5	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
W 6	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7

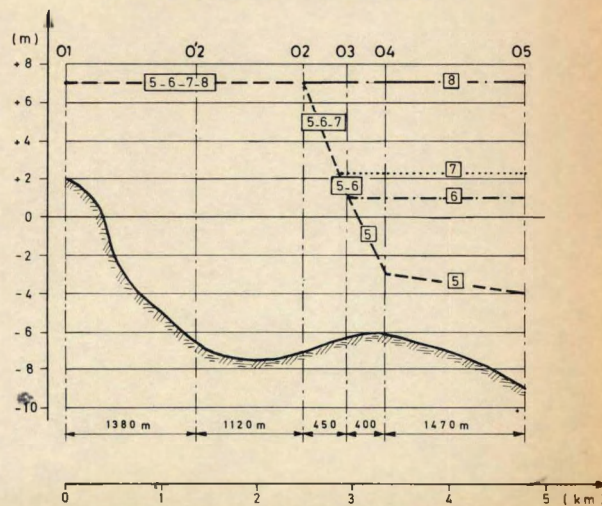
	T 5	T 6	T 7	T 8
O 1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O'2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O 2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O 3	+ 1	+ 1	+ 2,5	+ 7
O 4	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
O 5	- 4	+ 1	+ 2,5	+ 7

LENGTEPROFIELEN

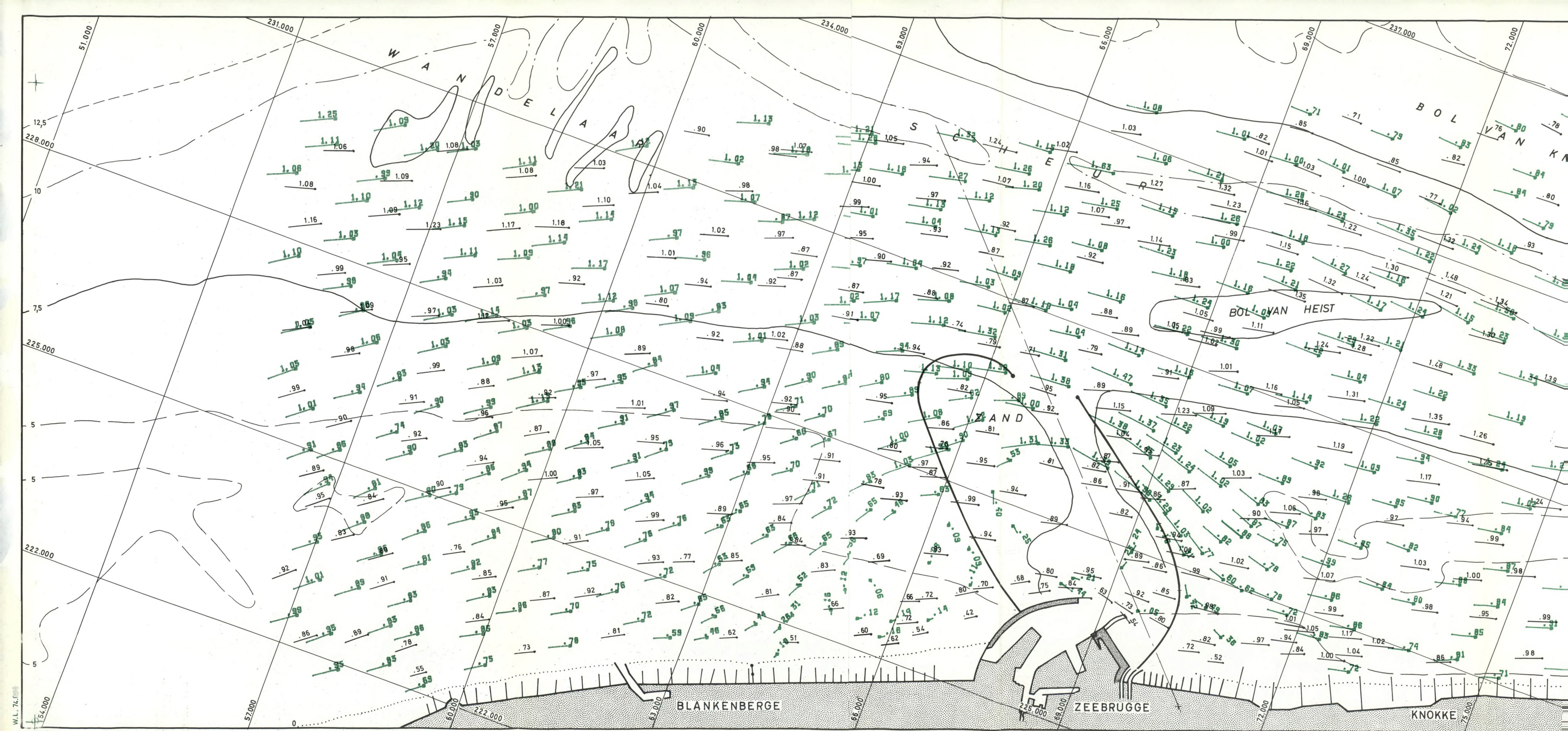
WESTELIJKE HAVENDAM



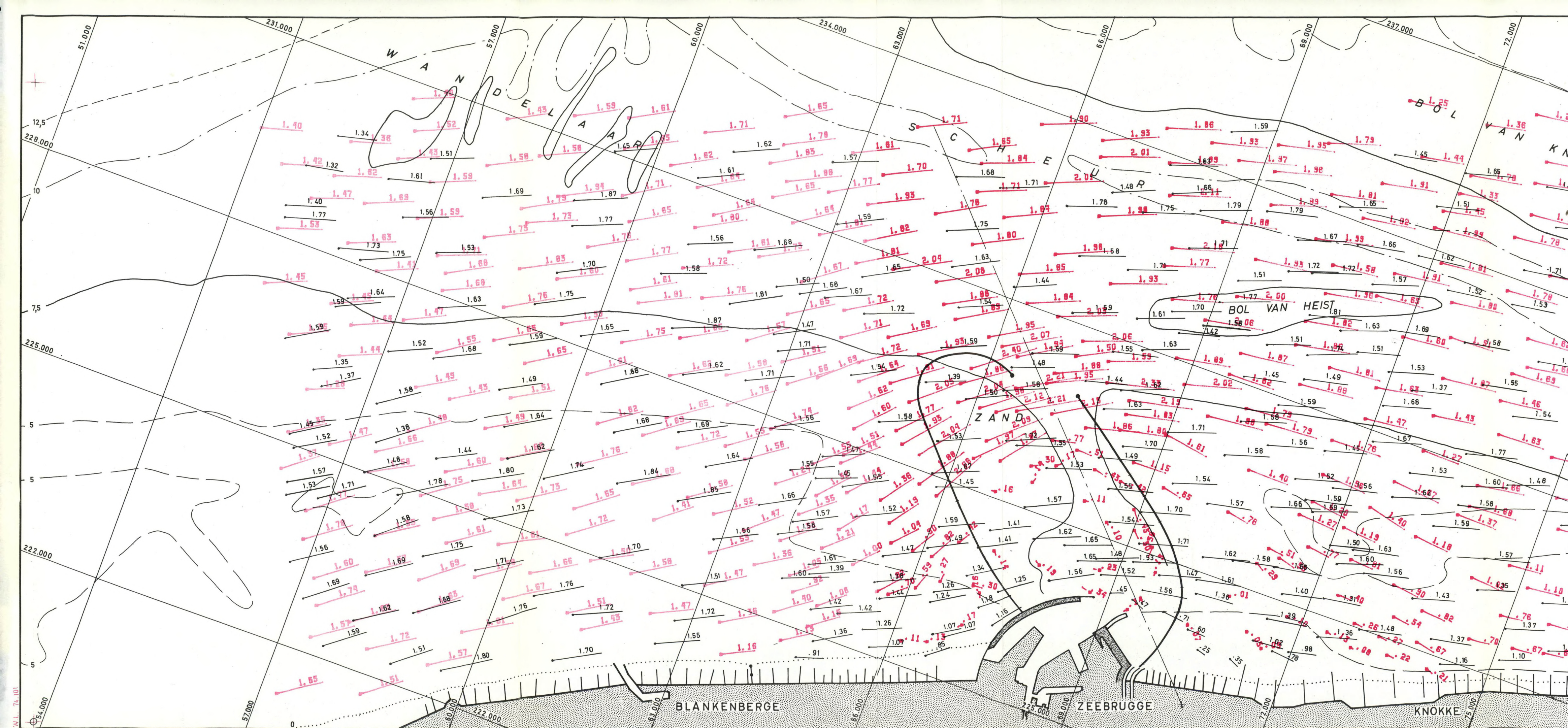
OOSTELIJKE HAVENDAM









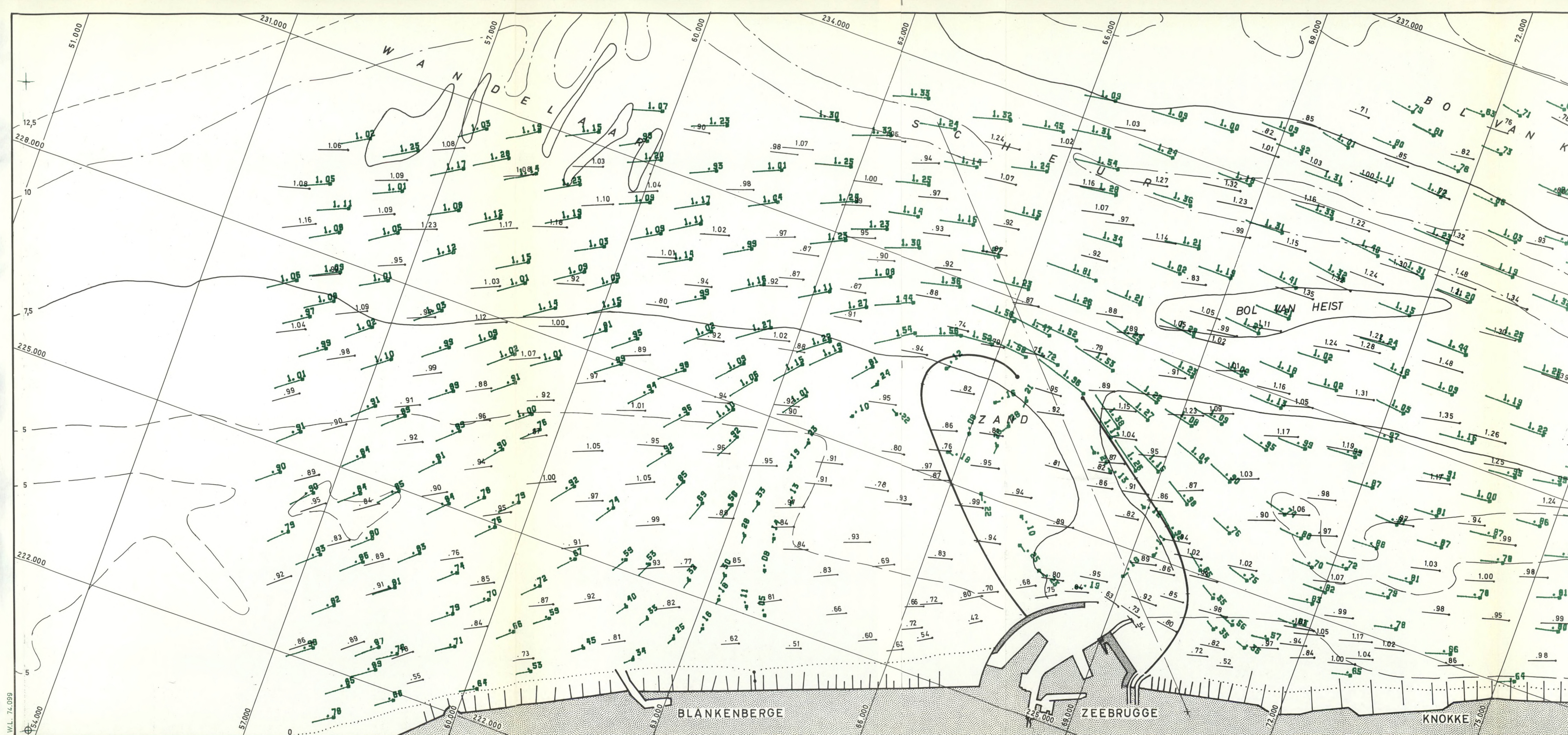


BLANKENBERGE

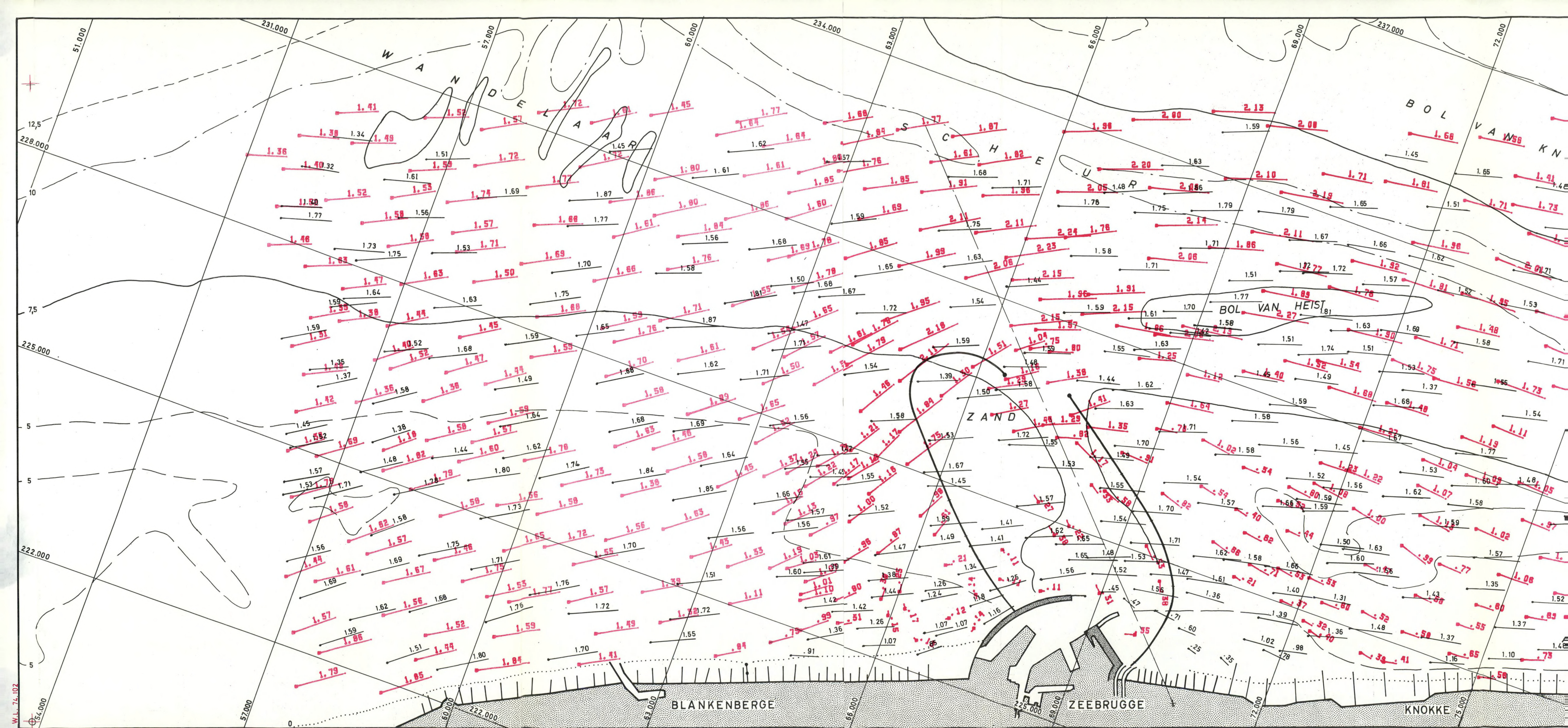
ZEEBRUGGE

KNOKKE

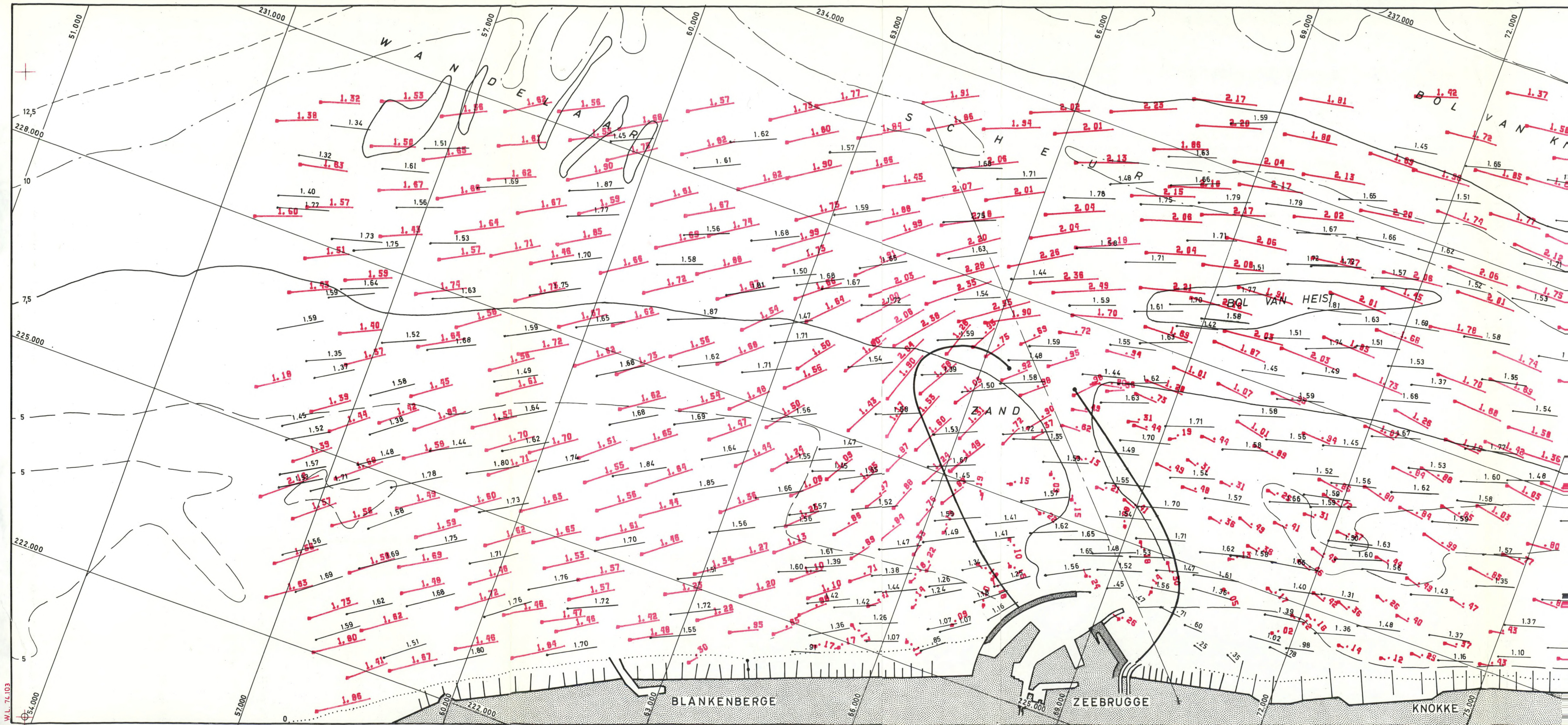




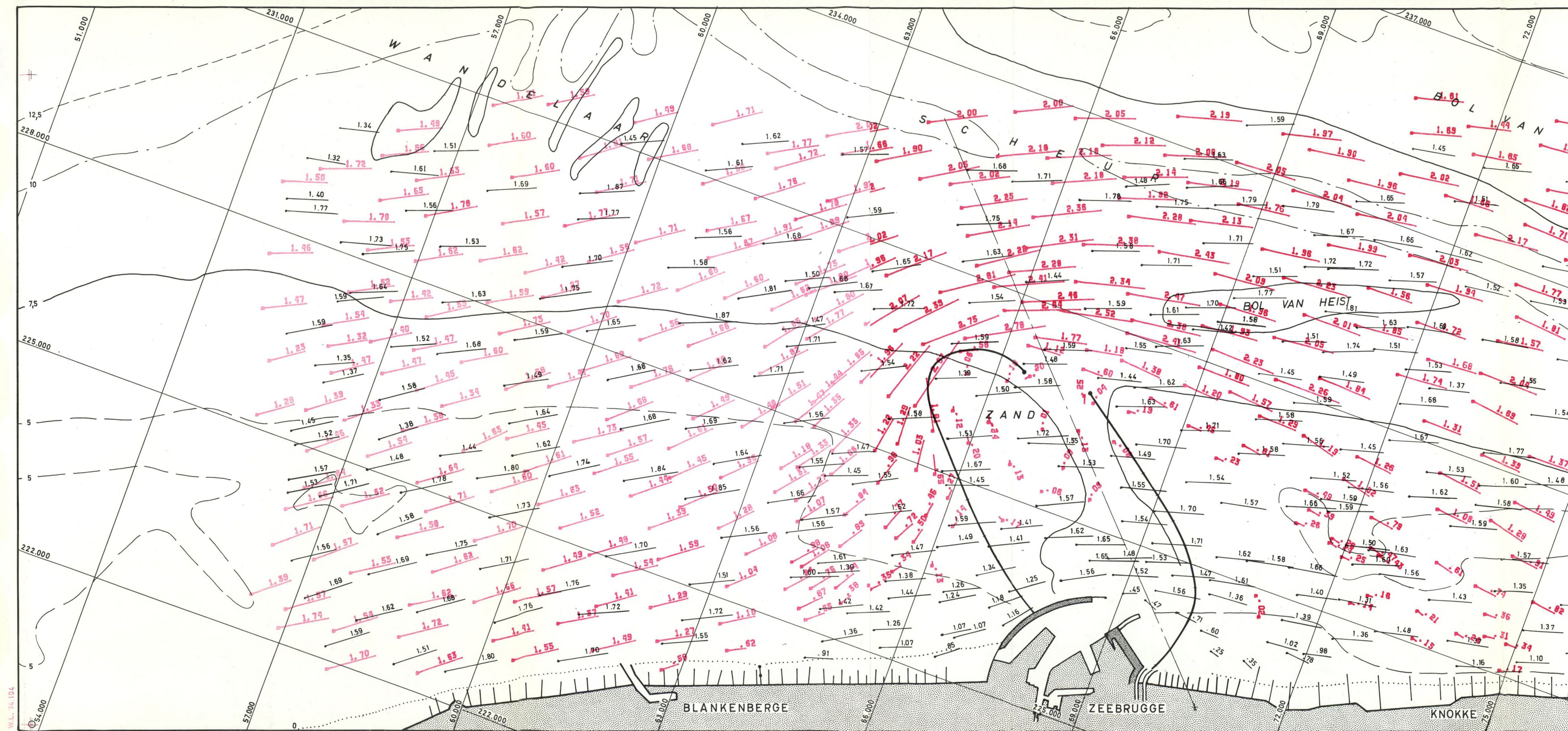












W.L. 74 104





SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T5 en 6  
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie

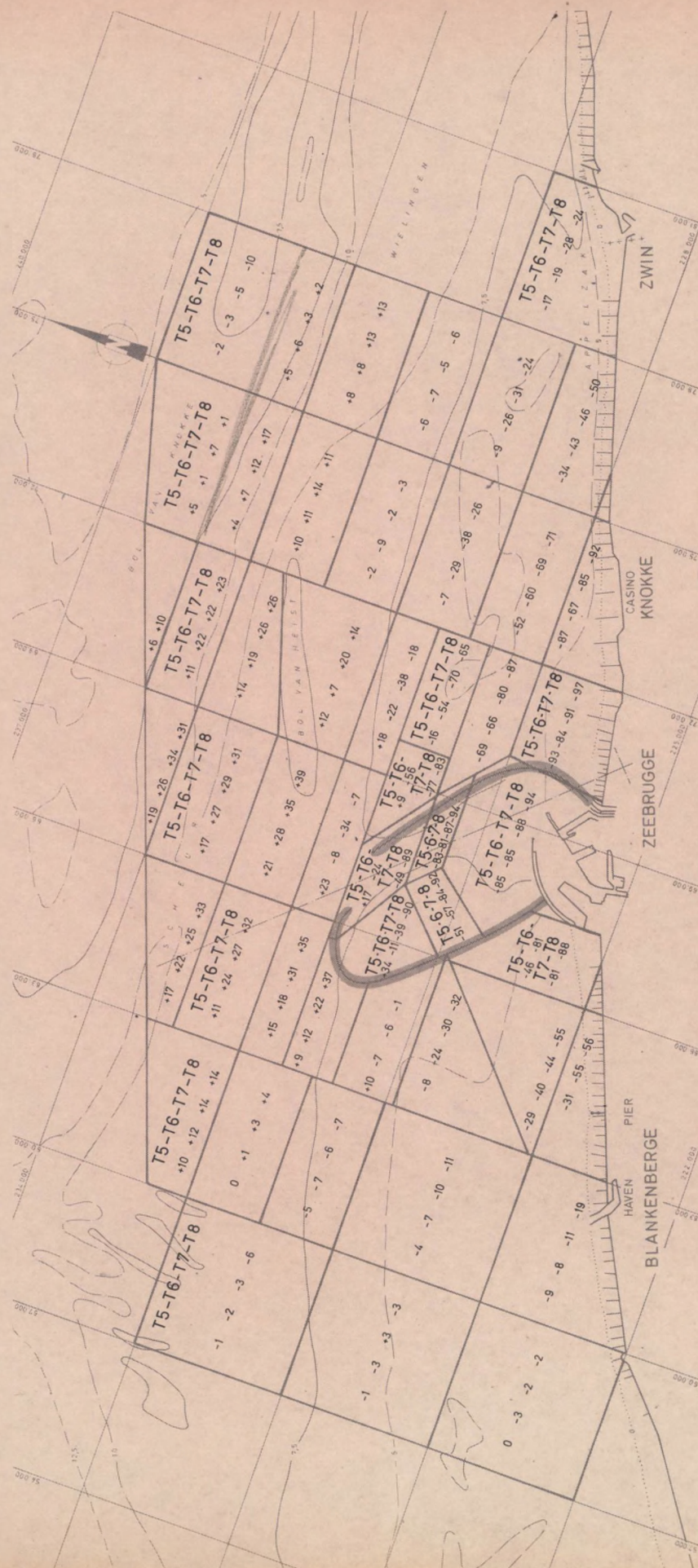




SCHAAL  
0 1 2 3 km

**SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0**  
voor T5-6-7 en 8  
VLOED 0h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie

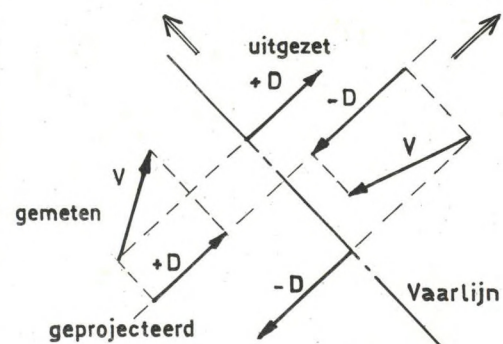
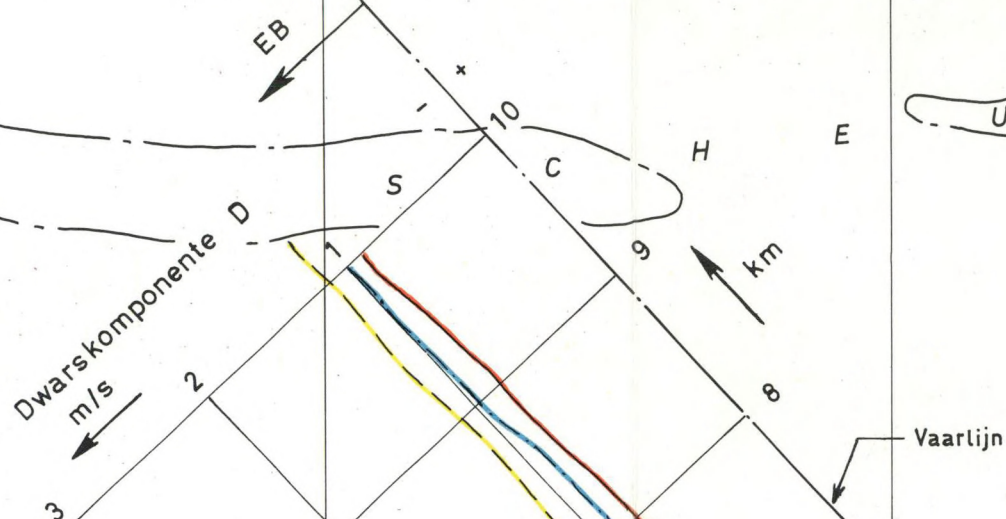




SCHALEN: Plan: 1/40.000  
Snelheden: 1 cm = 0,4 m/s natuur

SNELHEIDSPROFIELEN T0 - T5 en T6  
DWARSKOMPONENTE V.D. OPPERVLAKTESNELHEID  
EB 5 h 30 na H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie



T0 — (zonder havendammen)

KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. z.vlak

	T5*	T6*			
W1	+ 7	+ 7			
W2	+ 7	+ 7			
W3	+ 1	+ 1			
W4	- 3	+ 1			
W5	- 3	+ 1			
W6	- 3	+ 1			
O1	+ 7	+ 7			
O'2	+ 7	+ 7			
O2	+ 7	+ 7			
O3	+ 1	+ 1			
O4	- 3	+ 1			
O5	- 4	+ 1			

Zandaanvulling achter Westelijke dam: \*

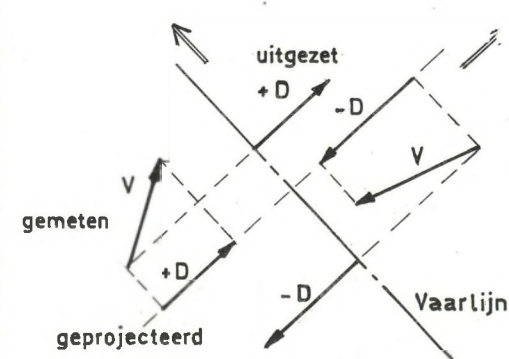
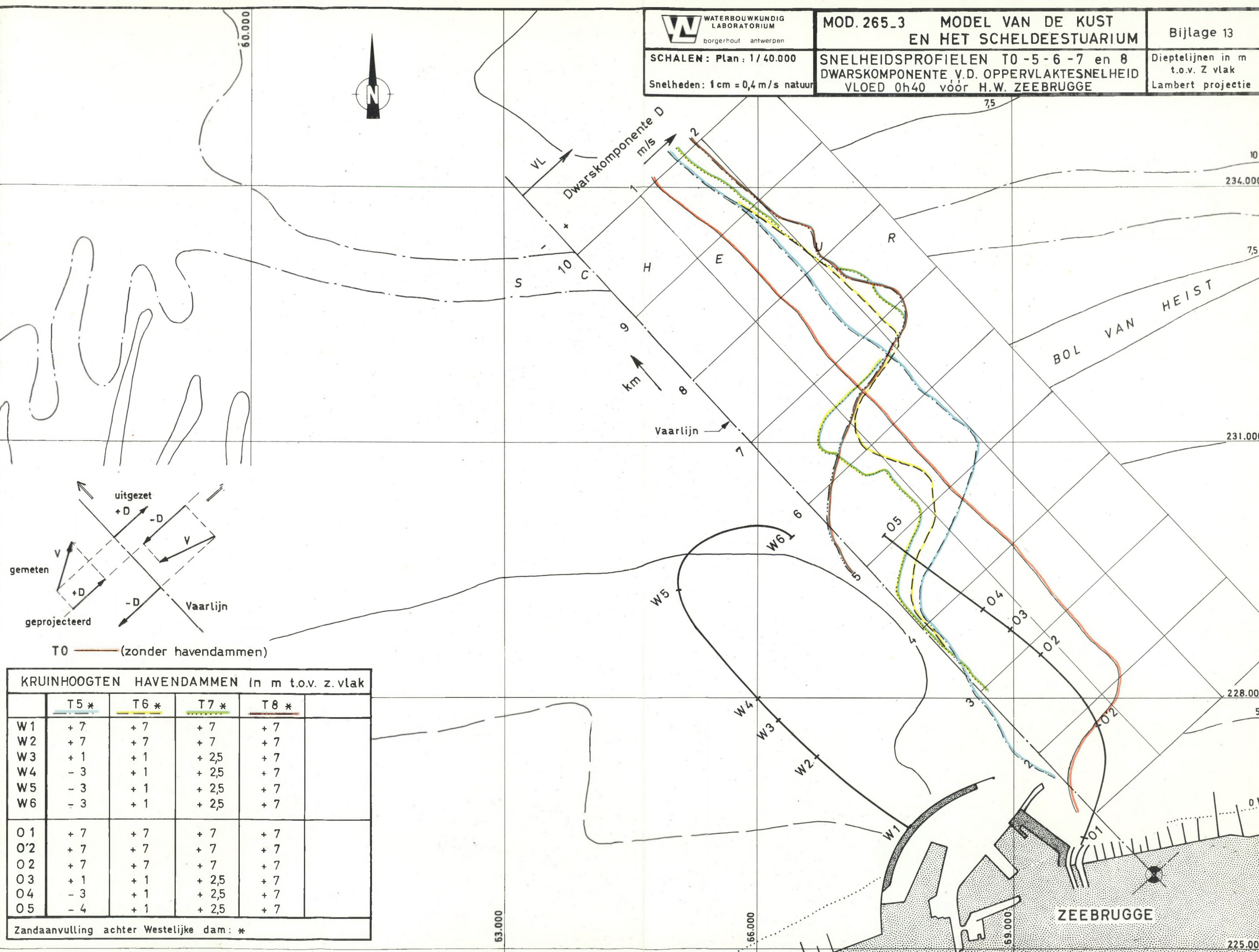


SCHALEN: Plan: 1/40.000

SNELHEIDSPROFIELEN T0 -5 -6 -7 en 8  
DWARSKOMPONENTE V.D. OPPERVLAKTESNELHEID  
VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Snelheden: 1 cm = 0,4 m/s natuur



T0 — (zonder havendammen)

KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. z.vlak				
	T5 *	T6 *	T7 *	T8 *
W1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
W2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
W3	+ 1	+ 1	+ 2,5	+ 7
W4	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
W5	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
W6	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
O1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O'2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O3	+ 1	+ 1	+ 2,5	+ 7
O4	- 3	+ 1	+ 2,5	+ 7
O5	- 4	+ 1	+ 2,5	+ 7

Zandaanvulling achter Westelijke dam: \*



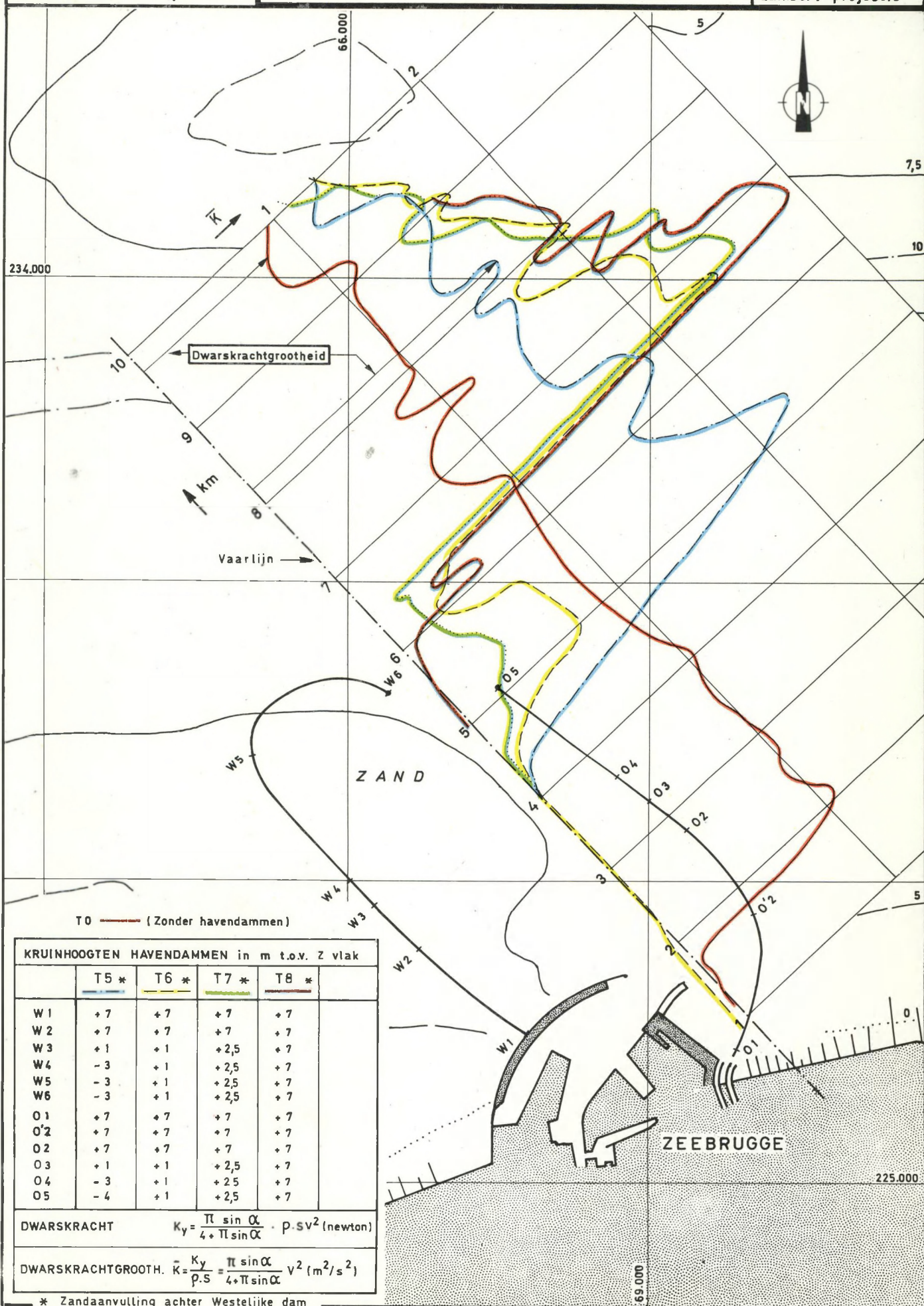
**SCHALEN: Plan 1/ 50.000**

DWARSKRACHTLIJNEN T0 -5 -6 -7 en 8

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

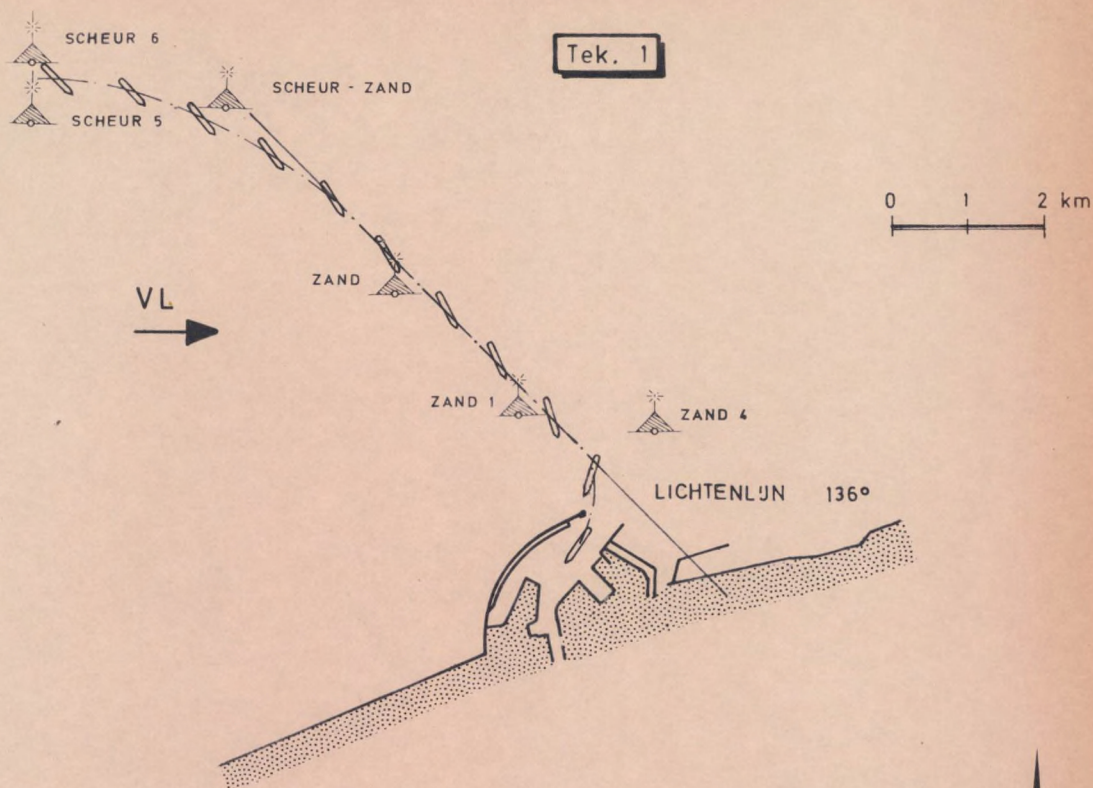
Dwarskrachtgr.  $1 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$

VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE

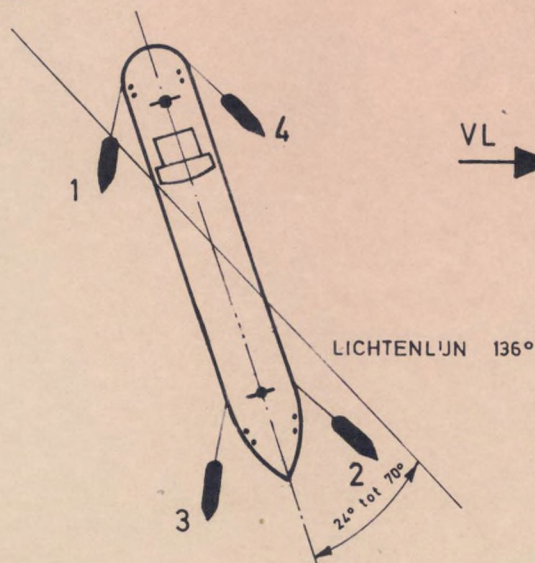




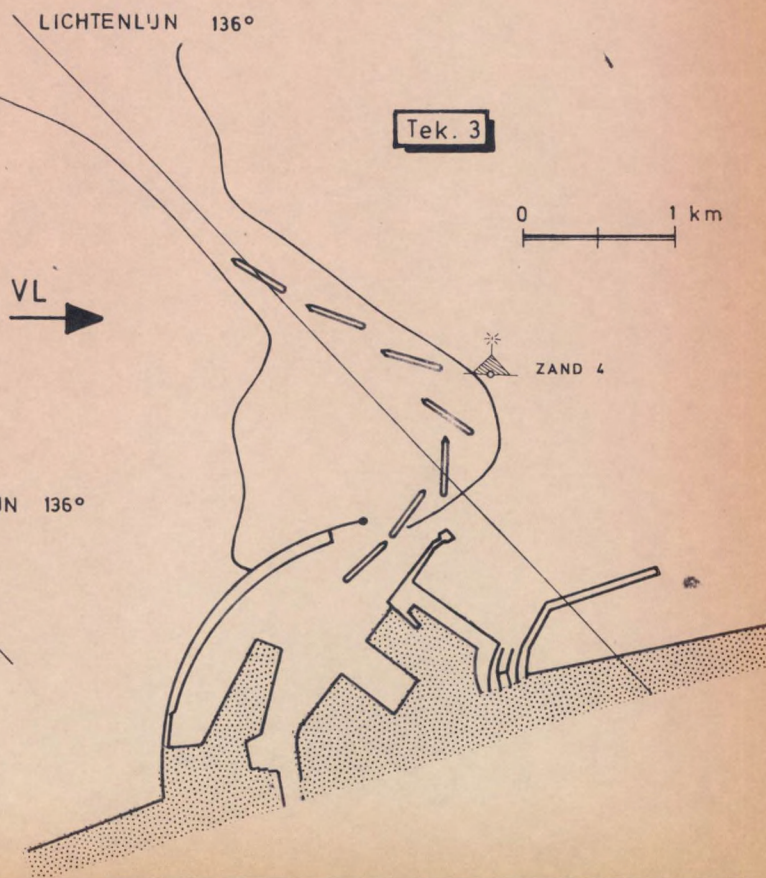
IN - EN UITVAARMANŒUVRE VAN DE SCHEPEN



**Tek. 2**



**Tek. 3**

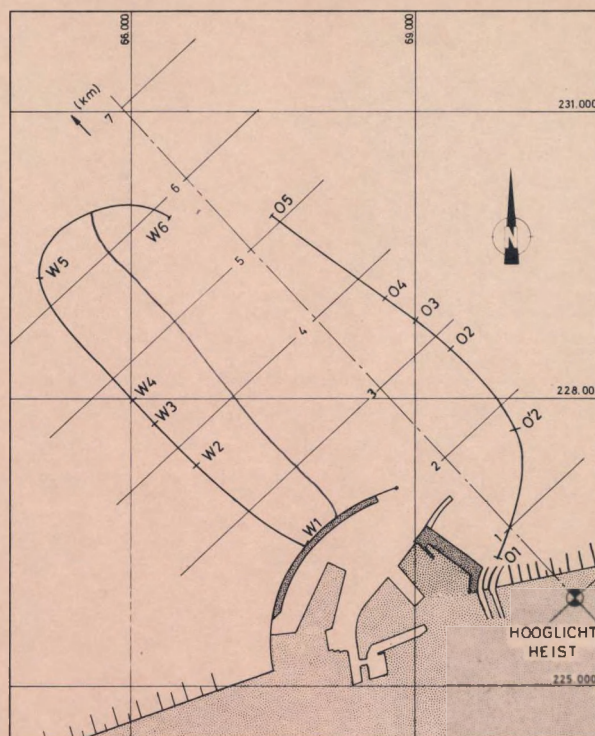






OVERZICHT VAN DE PROEVEN T5-9-10-11-12 en 13  
HAVENDAMMEN: PLATTEGROND en LENGTEPROFIEL

PLATTEGROND



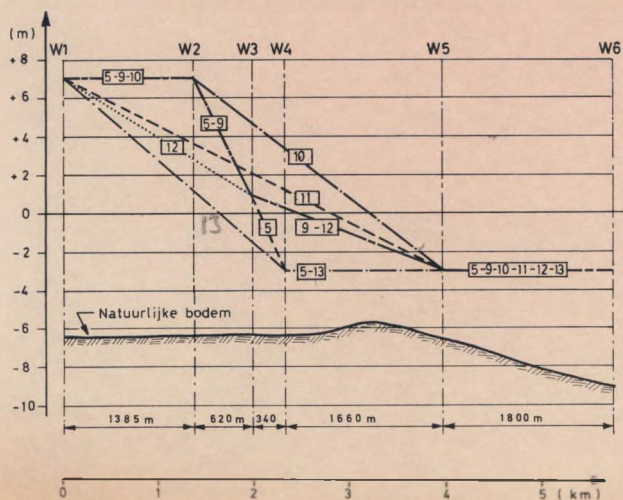
KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. Z vlak

	T5	T9	T10	T11	T12	T13
W1	+7	+7	+7	+7	+7	+7
W2	+7	+7	+7			
W3	+1	+1			+1	
W4	-3					-3
W5	-3	-3	-3	-3	-3	-3
W6	-3	-3	-3	-3	-3	-3

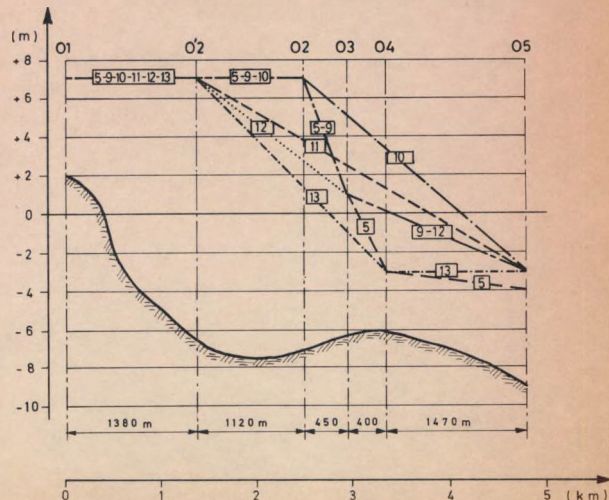
	T5	T9	T10	T11	T12	T13
O1	+7	+7	+7	+7	+7	+7
O'2	+7	+7	+7	+7	+7	+7
O2	+7	+7	+7			
O3	+1	+1			+1	
O4	-3					-3
O5	-4	-3	-3	-3	-3	-3

LENGTEPROFIELEN

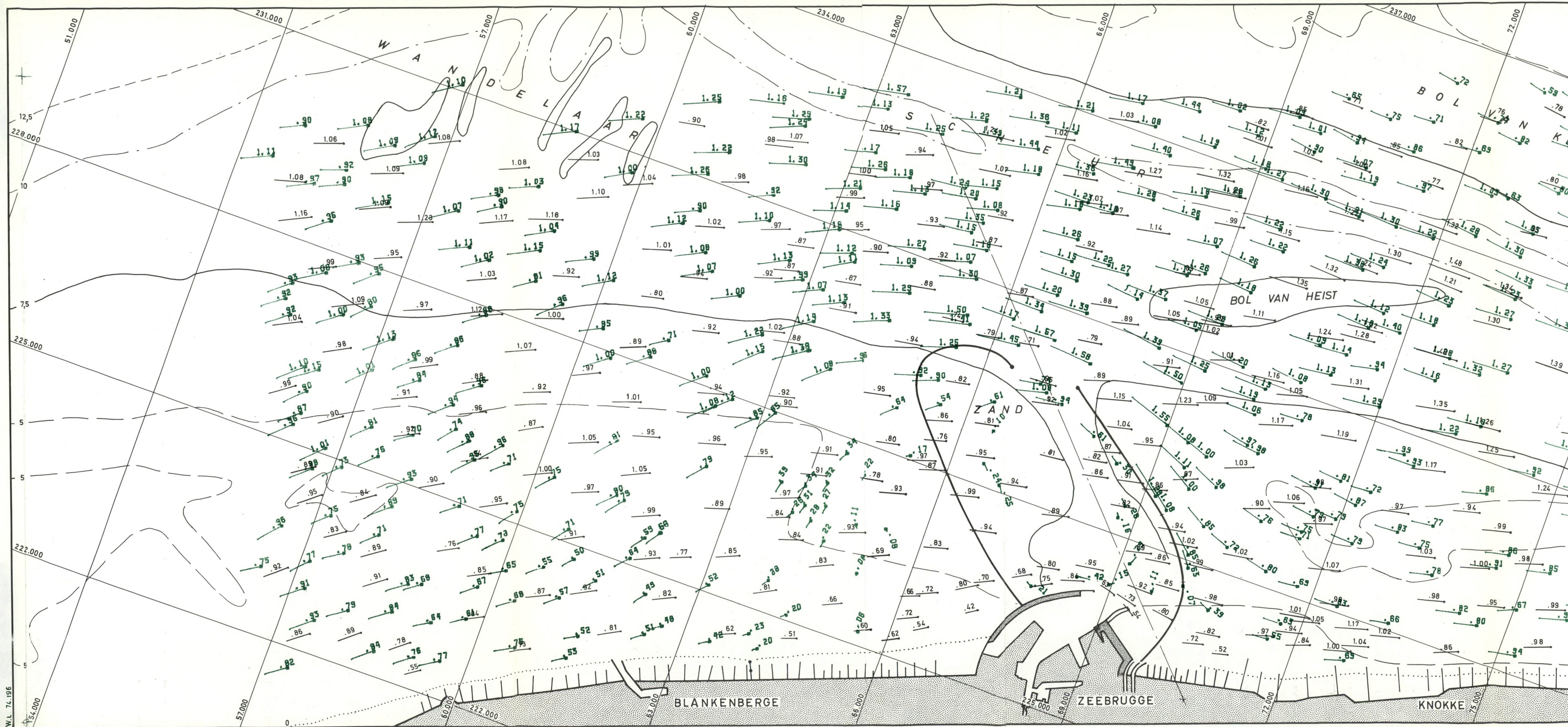
WESTELIJKE HAVENDAM



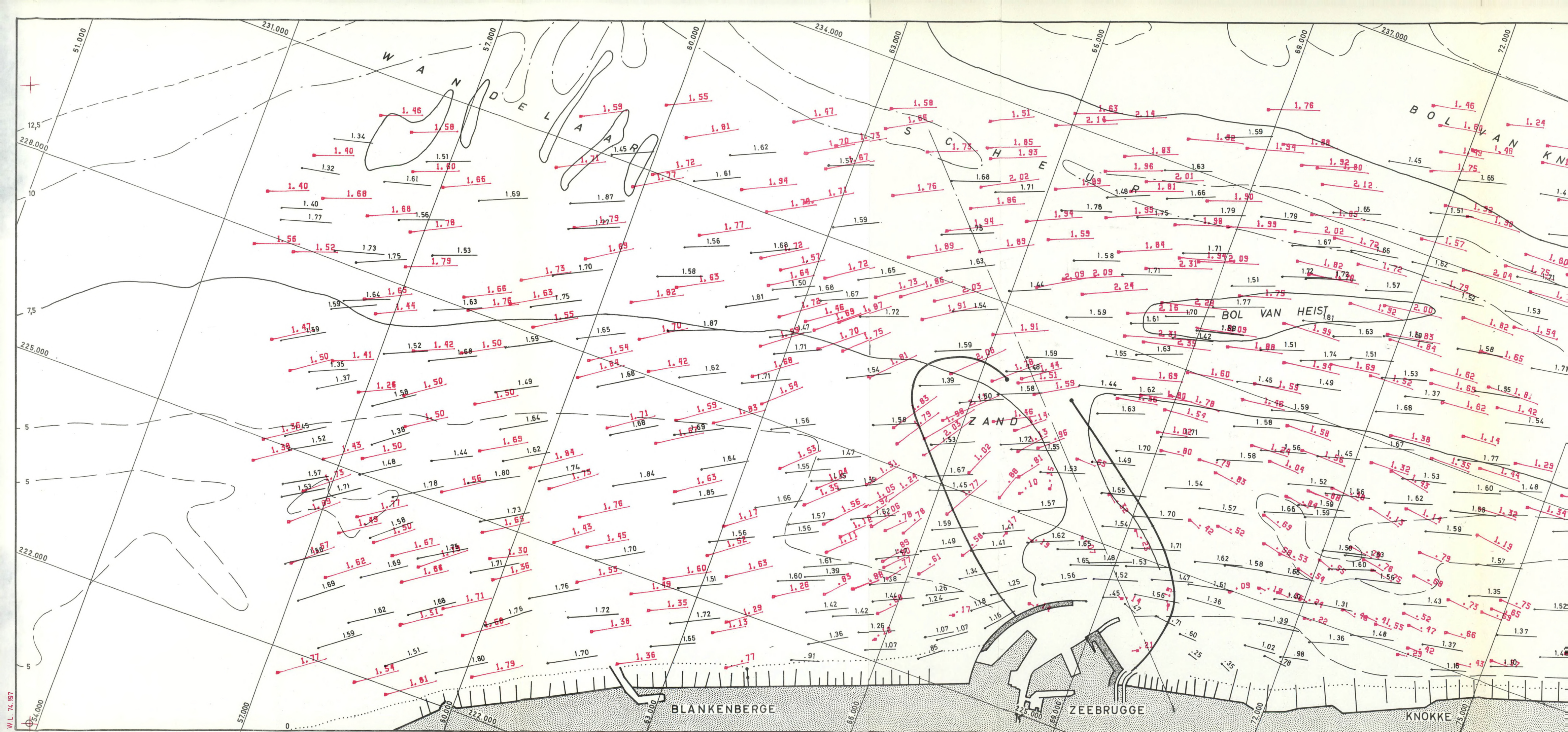
OOSTELIJKE HAVENDAM



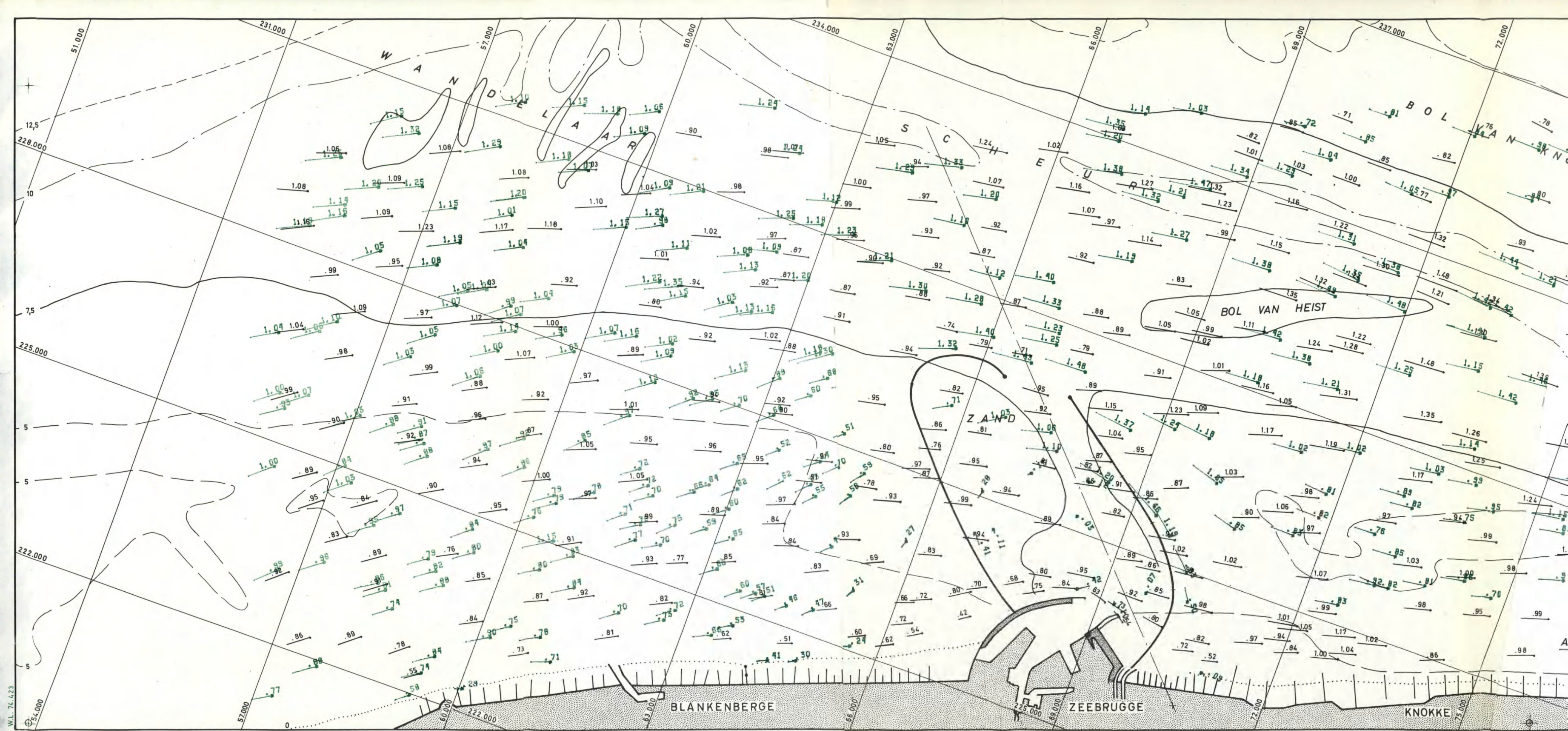






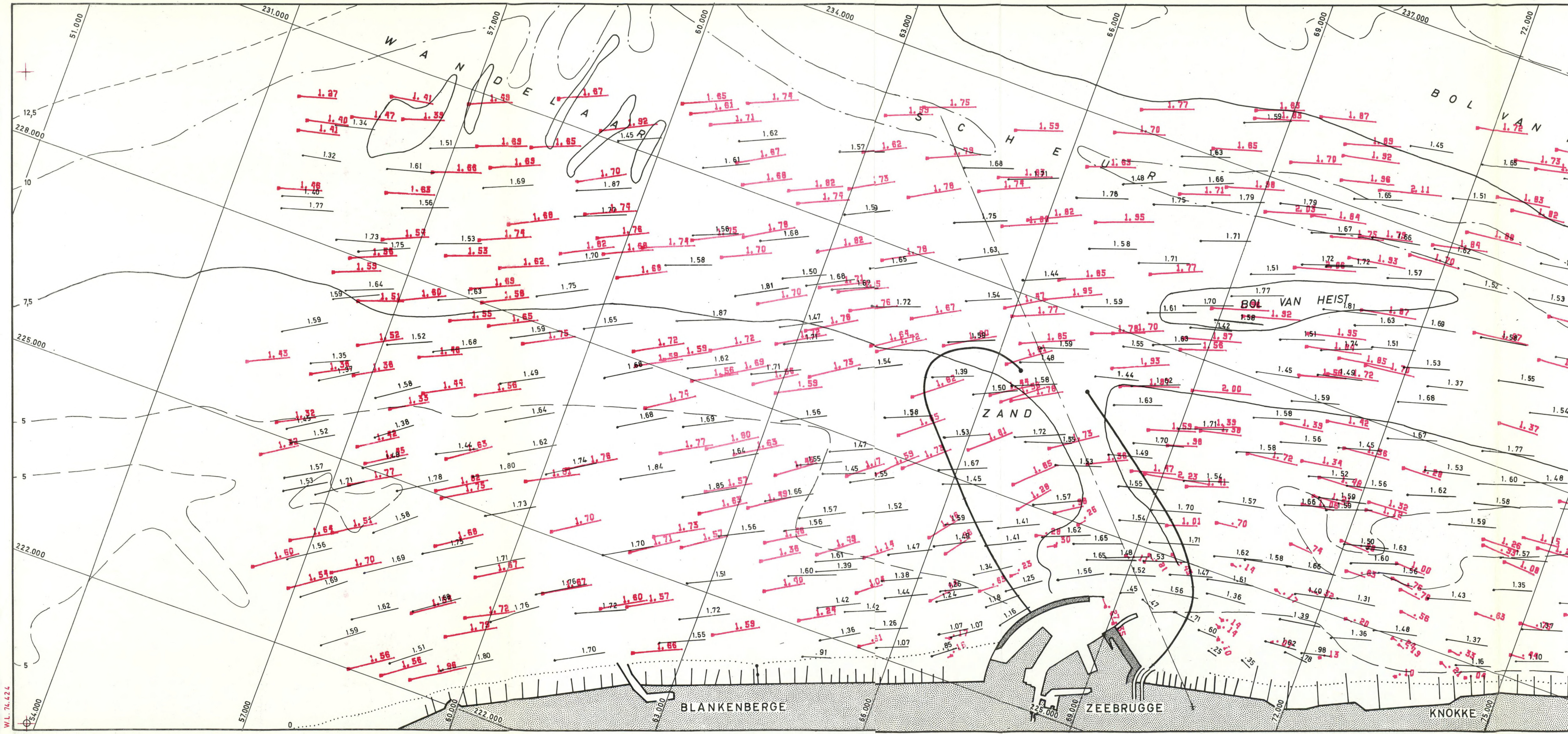






W.L. 74.423









WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

# MOD. 265\_3 MODEL VAN DE KUST EN HET SCHELDEESTUARIUM

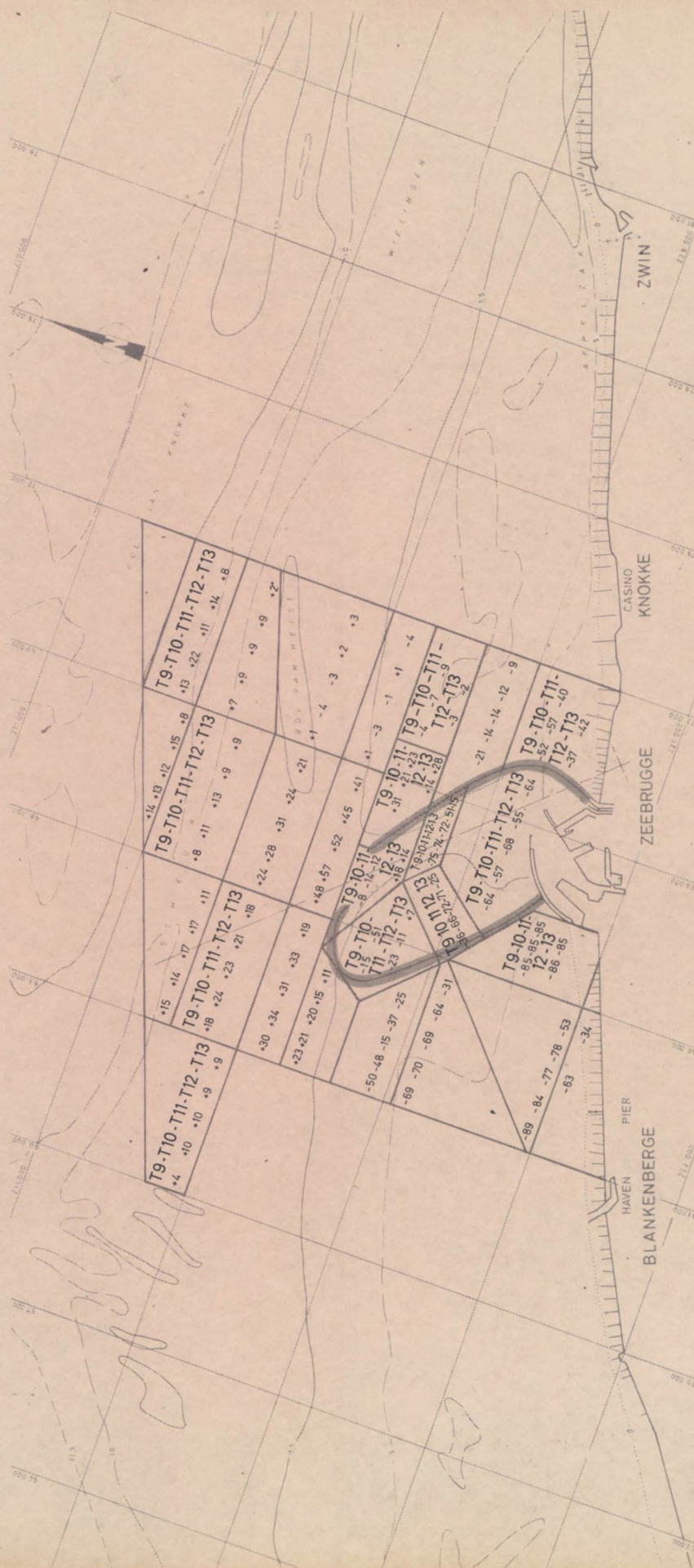
Bijlage 21

SCHAAL

0 1 2 3 km

**SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0**  
voor T9 - 10 - 11 - 12 en 13  
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





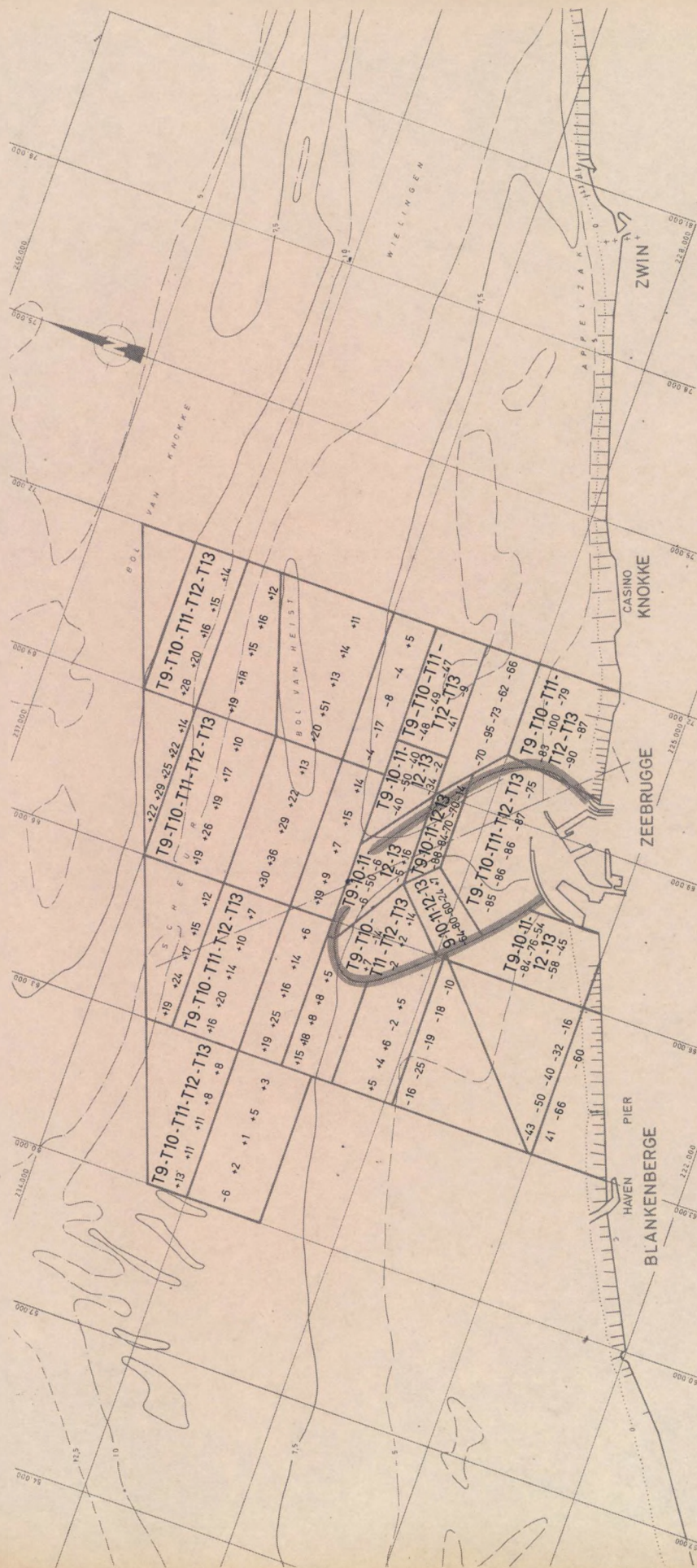


SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T9 - 10 - 11 - 12 en 13  
VLOED 0h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie







WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD. 265\_3 MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

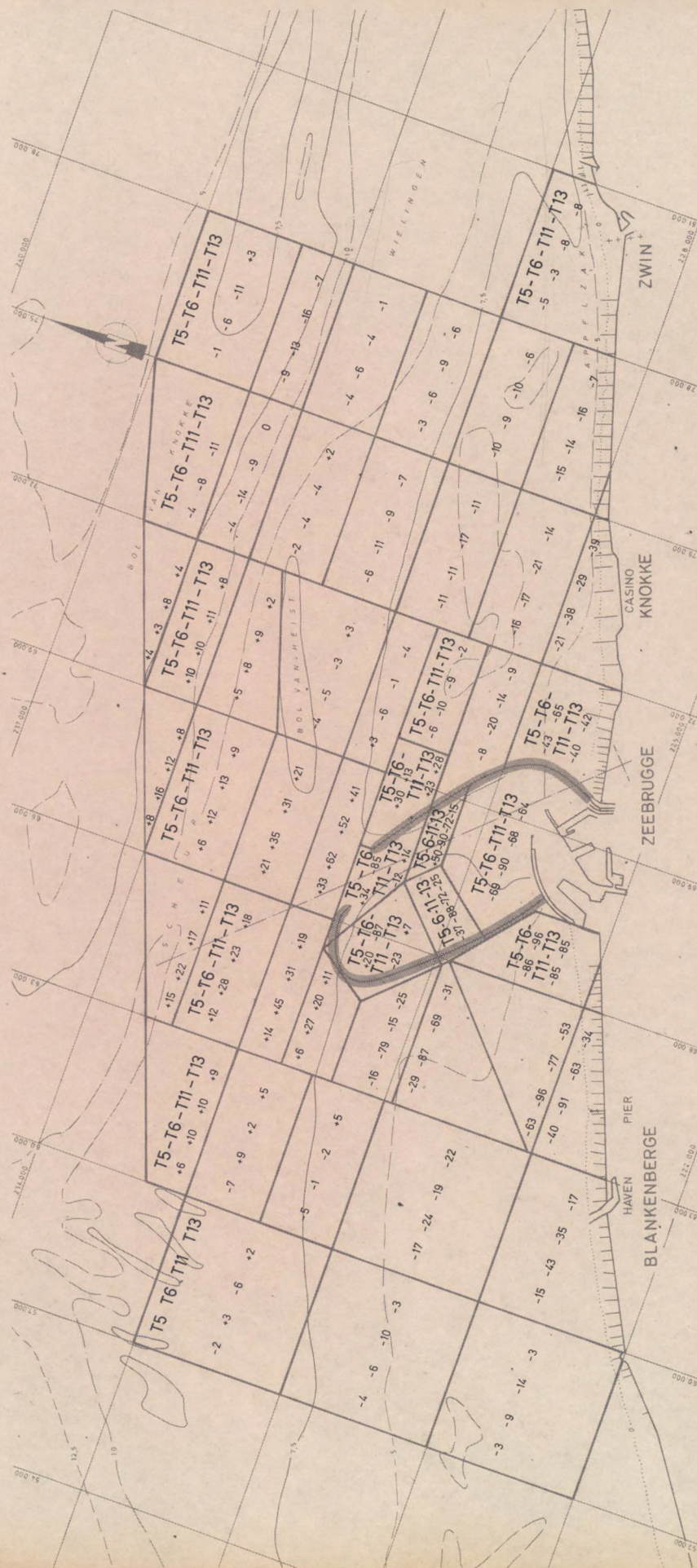
Bijlage 23

SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor 15 6 11 en 13  
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie







WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD. 265.3 MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

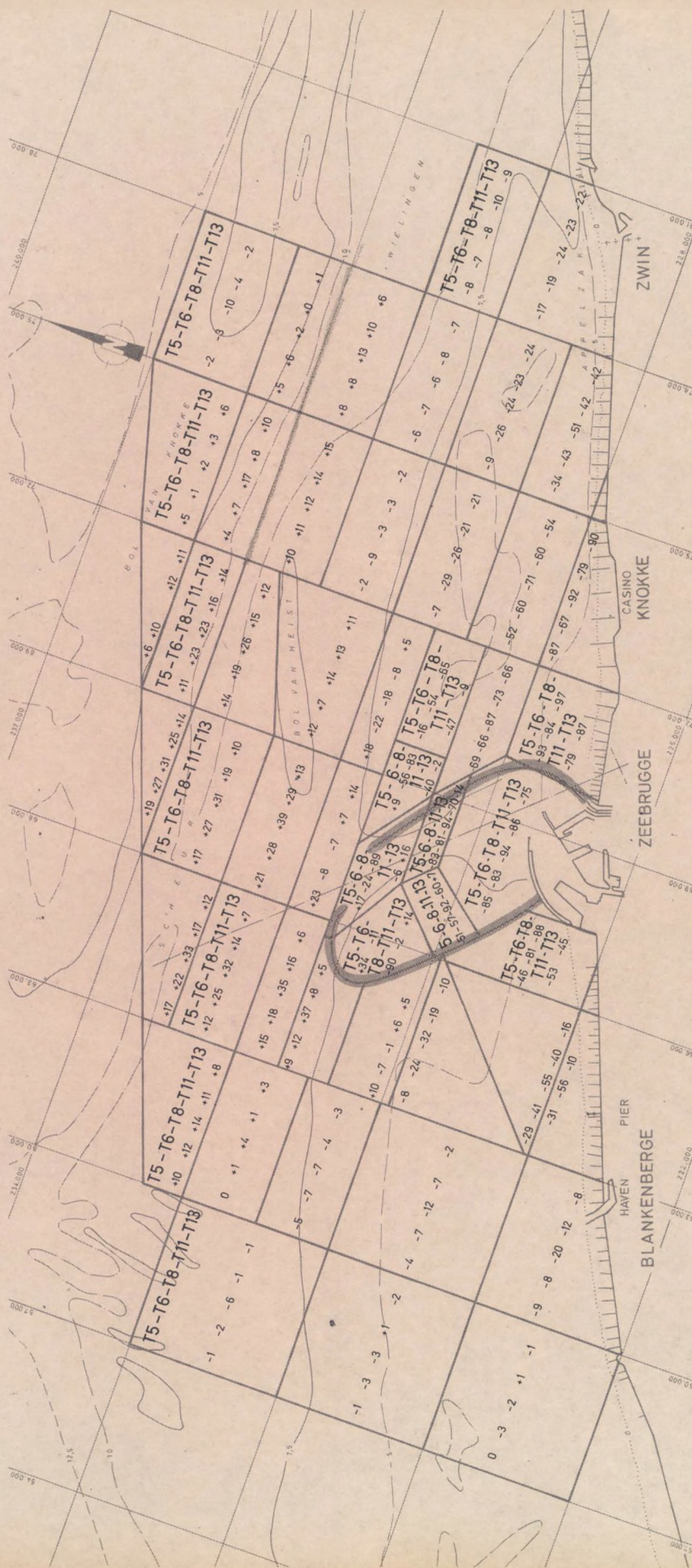
Bijlage 24

SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T5-6-8-11 en 13  
VLOED 0h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





SCHALEN: Plan: 1/40.000

SNELHEIDSPROFIELEN T0-9-10-11-12 en 13  
DWARSKOMPONENTE V.D. OPPERVLAKTESNELHEID  
EB 5h30 na H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Snelheden: 1 cm = 0,4 m/s natuur

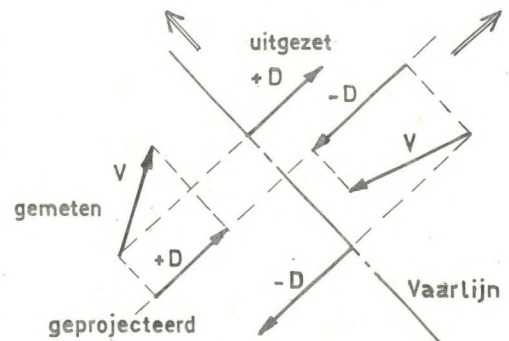


Dwarskomponente D  
m/s

km

Vaartlijn

BOL VAN HEIST



T0 — (zonder havendammen)

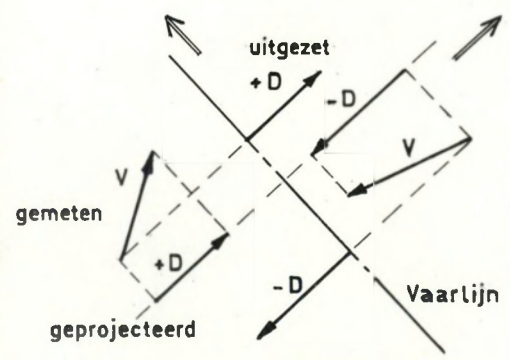
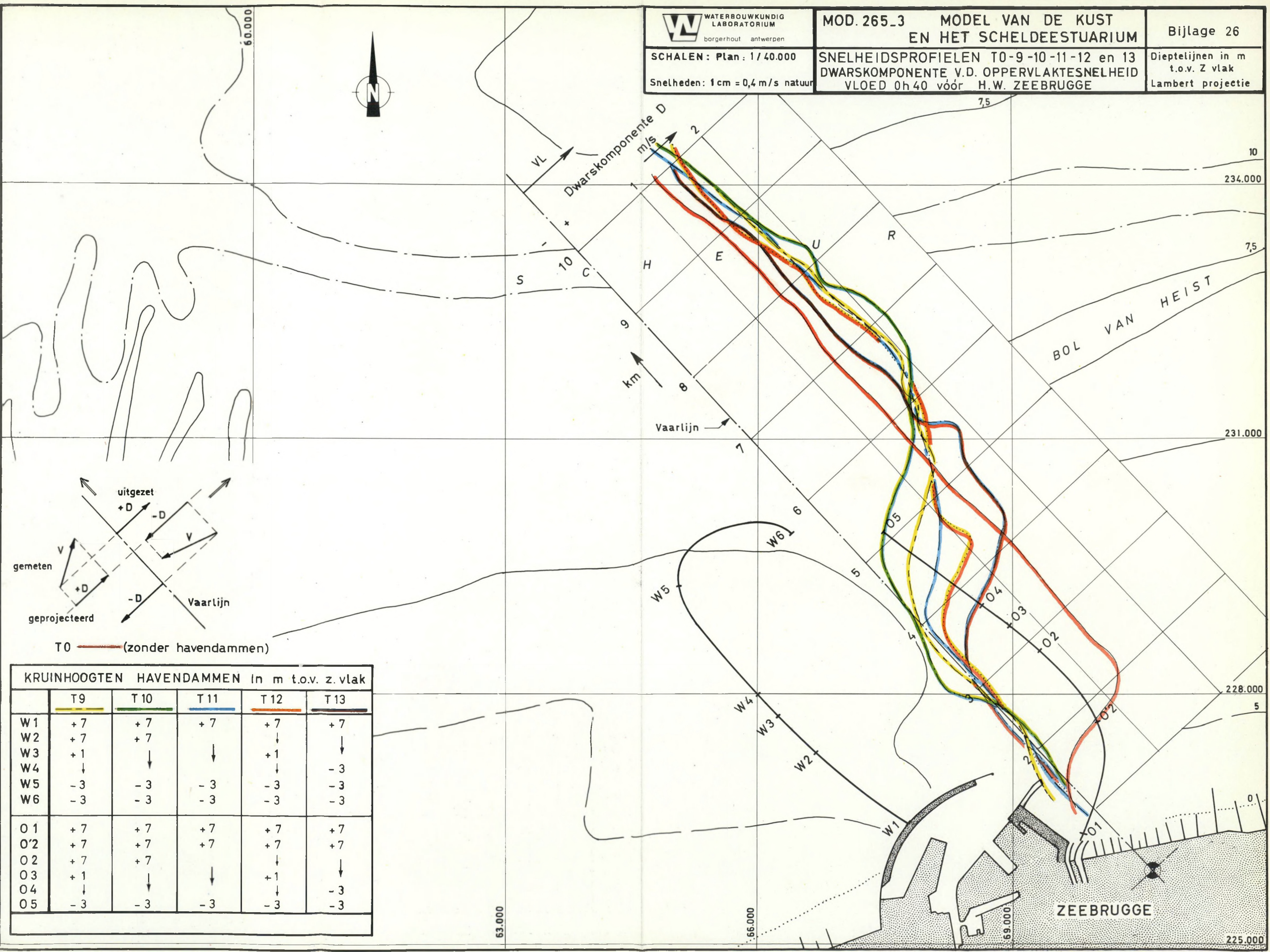
KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. z.vlak					
	T9	T10	T11	T12	T13
W1	+7	+7	+7	+7	+7
W2	+7	+7		↓	↓
W3	+1	↓	↓	+1	↓
W4	↓	↓	↓	↓	-3
W5	-3	-3	-3	-3	-3
W6	-3	-3	-3	-3	-3
O1	+7	+7	+7	+7	+7
O'2	+7	+7	+7	+7	+7
O2	+7	+7		↓	↓
O3	+1	↓	↓	+1	↓
O4	↓	↓	↓	↓	-3
O5	-3	-3	-3	-3	-3



SCHALEN: Plan: 1/40.000  
Snelheden: 1 cm = 0,4 m/s natuur

SNELHEIDSPROFIELEN T0-9-10-11-12 en 13  
DWARSKOMPONENTE V.D. OPPERVLAKTESNELHEID  
VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie



T0 — (zonder havendammen)

KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. z. vlak					
	T9	T10	T11	T12	T13
W1	+7	+7	+7	+7	+7
W2	+7	+7		↓	↓
W3	+1	↓	↓	+1	
W4	↓			↓	-3
W5	-3	-3	-3	-3	-3
W6	-3	-3	-3	-3	-3
O1	+7	+7	+7	+7	+7
O'2	+7	+7	+7	+7	+7
O2	+7	+7		↓	↓
O3	+1	↓	↓	+1	
O4	↓			↓	-3
O5	-3	-3	-3	-3	-3





WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD.265\_3

MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 27

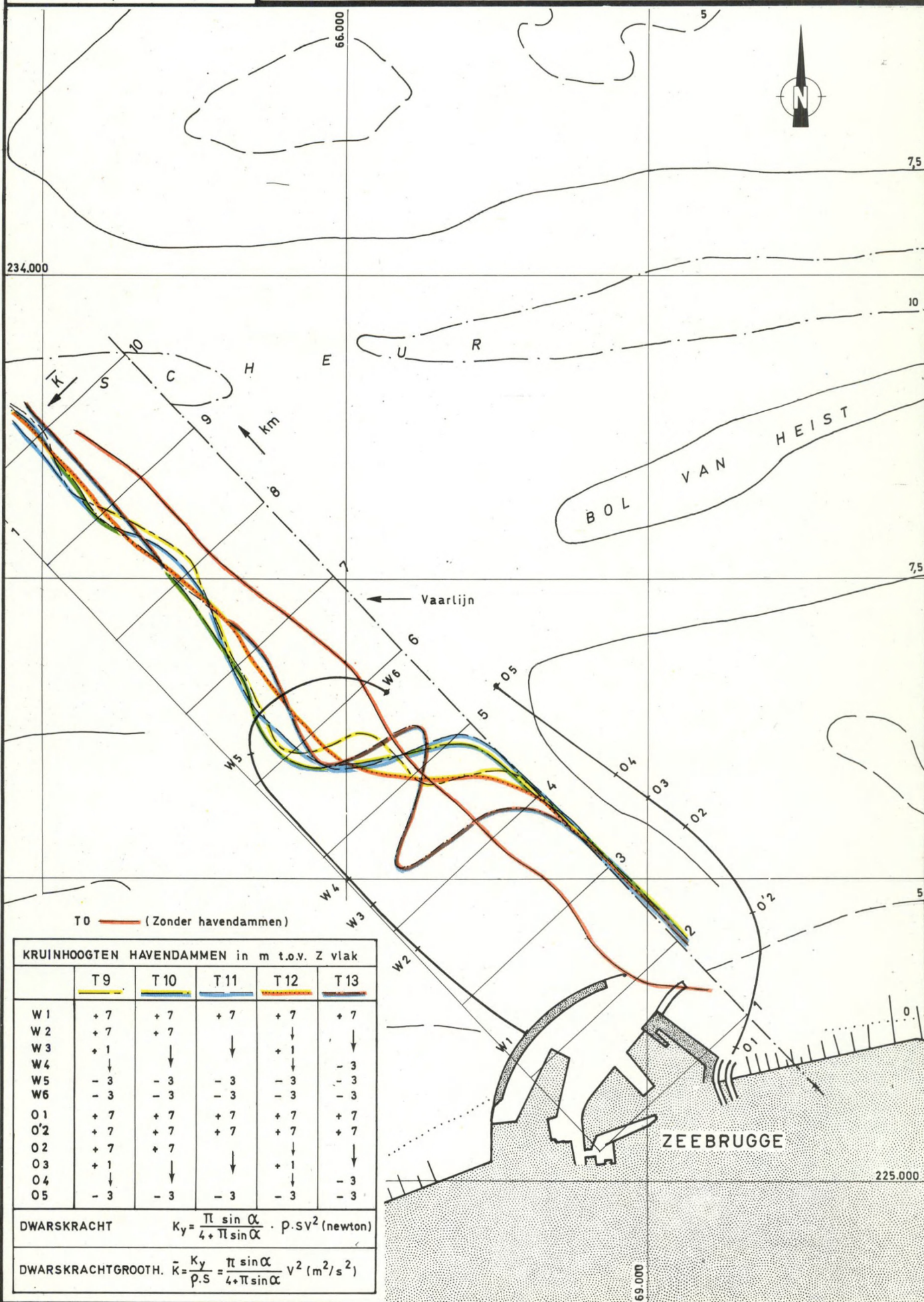
SCHALEN : Plan 1/50.000

DWARSKRACHTLIJNEN T0-9-10-11-12 en 13

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Dwarskrachtgr.  $1\text{cm} = 0,25\text{m}^2/\text{s}^2$

EB 5h30 nà H.W. ZEEBRUGGE



T0 — (Zonder havendammen)

KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. Z vlak

	T9	T10	T11	T12	T13
W1	+7	+7	+7	+7	+7
W2	+7	+7			
W3	+1			+1	
W4					-3
W5	-3	-3	-3	-3	-3
W6	-3	-3	-3	-3	-3
O1	+7	+7	+7	+7	+7
O'2	+7	+7	+7	+7	+7
O2	+7	+7			
O3	+1			+1	
O4					-3
O5	-3	-3	-3	-3	-3

DWARSKRACHT  $K_y = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \cdot \rho \cdot S V^2$  (newton)

DWARSKRACHTGROOTH.  $\bar{K} = \frac{K_y}{\rho \cdot S} = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} V^2$  ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ )





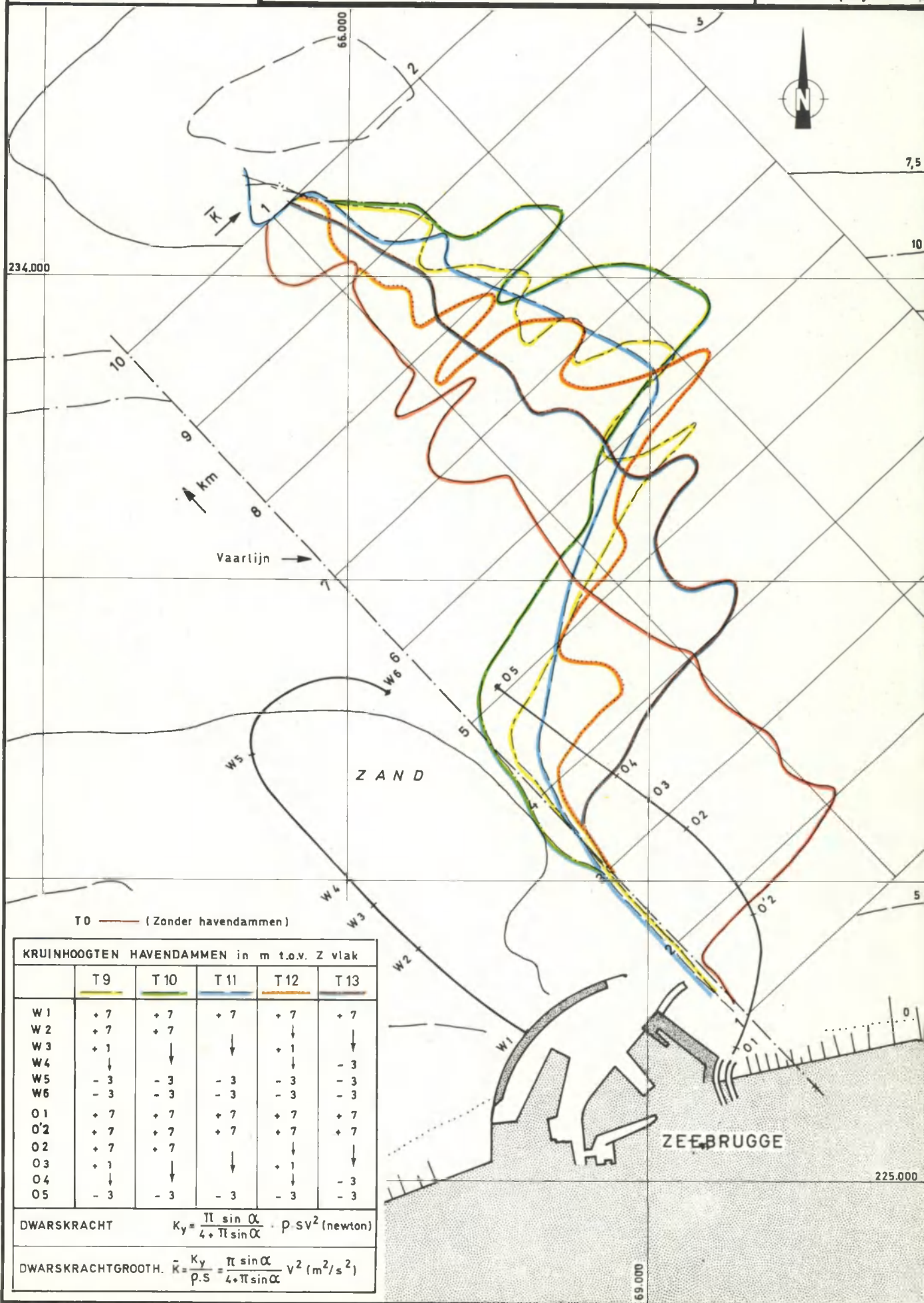
SCHALEN: Plan 1/50.000

DWARSKRACHTLIJNEN T0-9-10-11-12 en 13

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Dwarskrachtgr.  $1 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}^2/\text{s}^2$

VLOED 0h 40 vóór H.W. ZEEBRUGGE

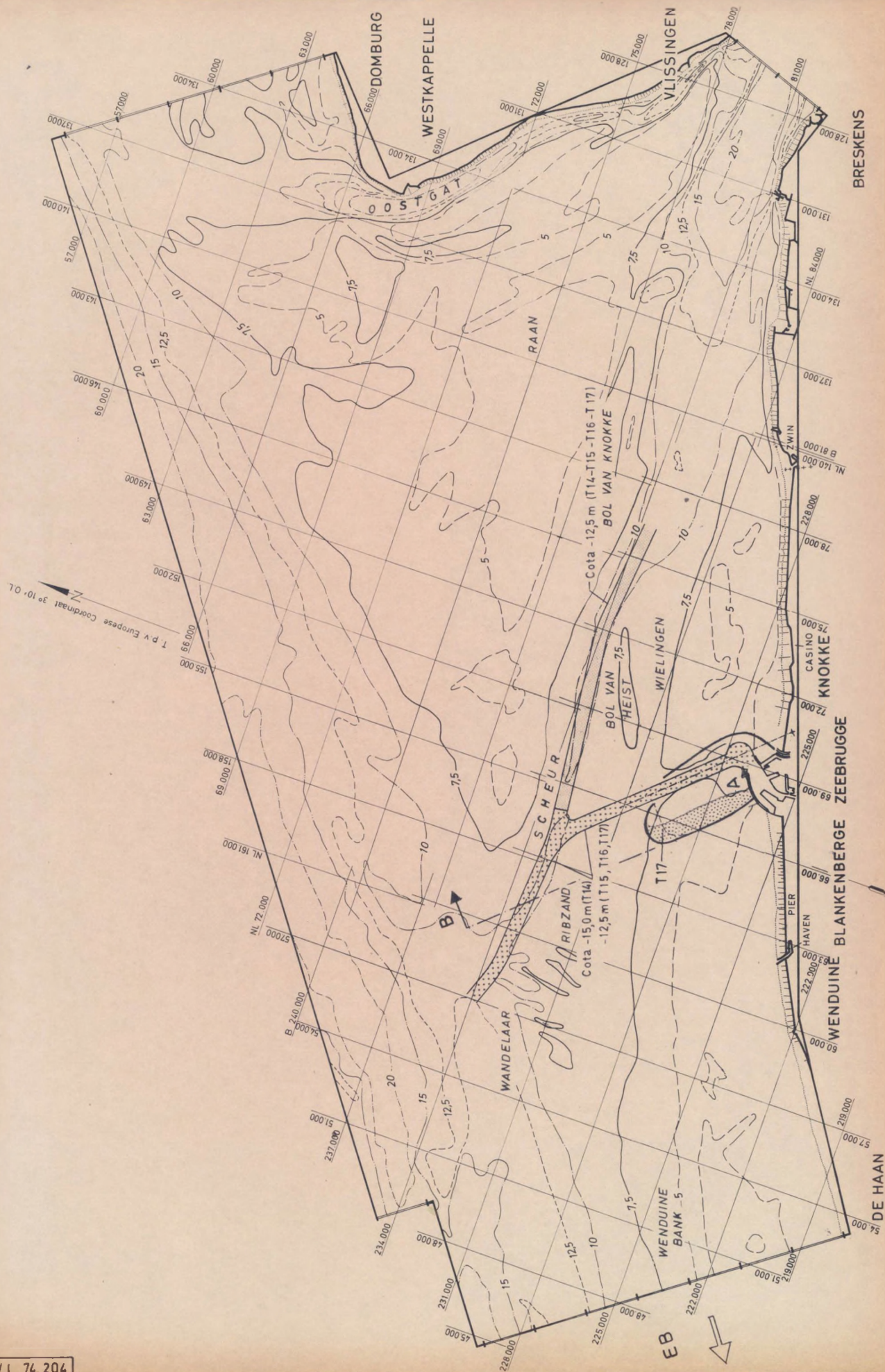




SCHALEN: Plan 1/200000  
Model: Horizontaal 1/1000  
Vertikaal 1/125

SITUATIEPLAN MET INPLANTING VAN  
DE HAVENDAMMEN EN DE VAARGEULEN

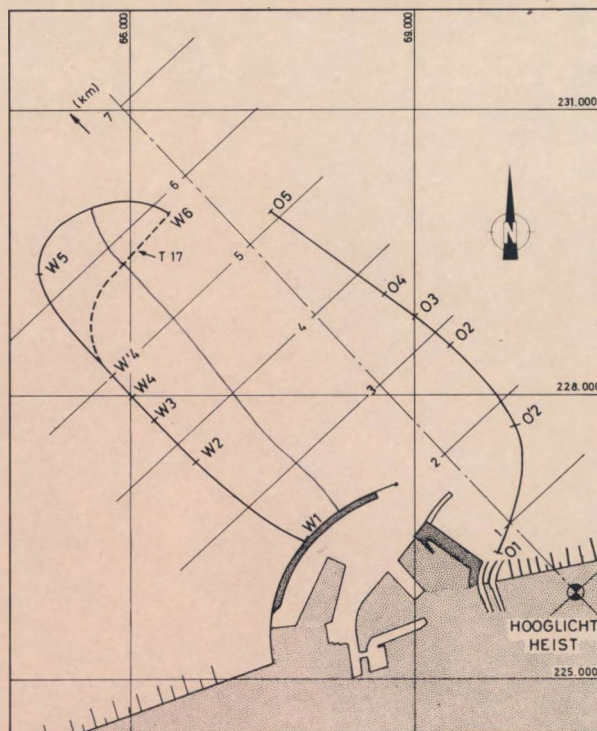
Dieptelijnen in  
m tov. Z vlak  
Lambert projectie





OVERZICHT VAN DE PROEVEN (T13), T14-15-16 en 17  
HAVENDAMMEN: PLATTEGROND en LENGTEPROFIEL

PLATTEGROND



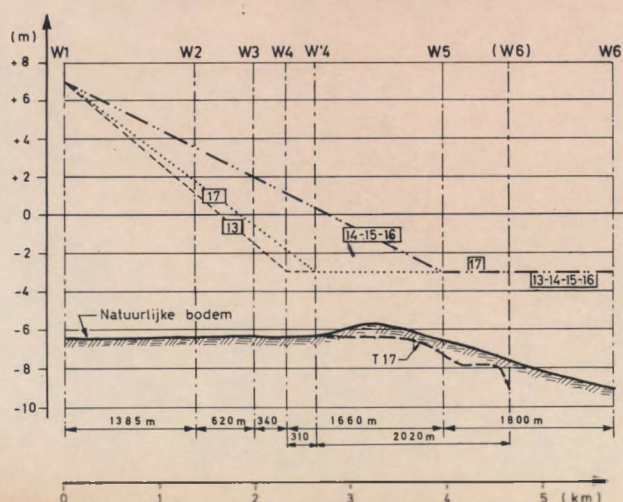
KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. Z vlak

	T 13	T 14	T 15	T 16	T 17
W1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
W2	↓				
W3	↓	↓	↓	↓	↓
W4	- 3				
W4	- 3				- 3
W5	- 3	- 3	- 3	- 3	-
W6	- 3	- 3	- 3	- 3	- 3

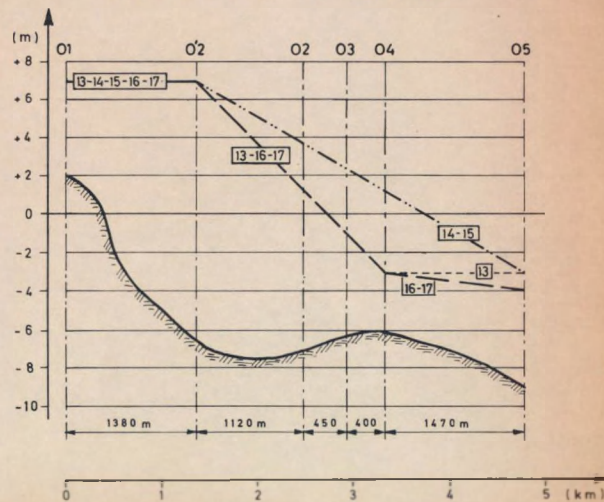
	T 13	T 14	T 15	T 16	T 17
O1	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O'2	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7	+ 7
O2	↓	↓	↓	↓	↓
O3					
O4	- 3			- 3	- 3
O5	- 3	- 3	- 3	- 4	- 4

LENGTEPROFIELEN

WESTELIJKE HAVENDAM



OOSTELIJKE HAVENDAM





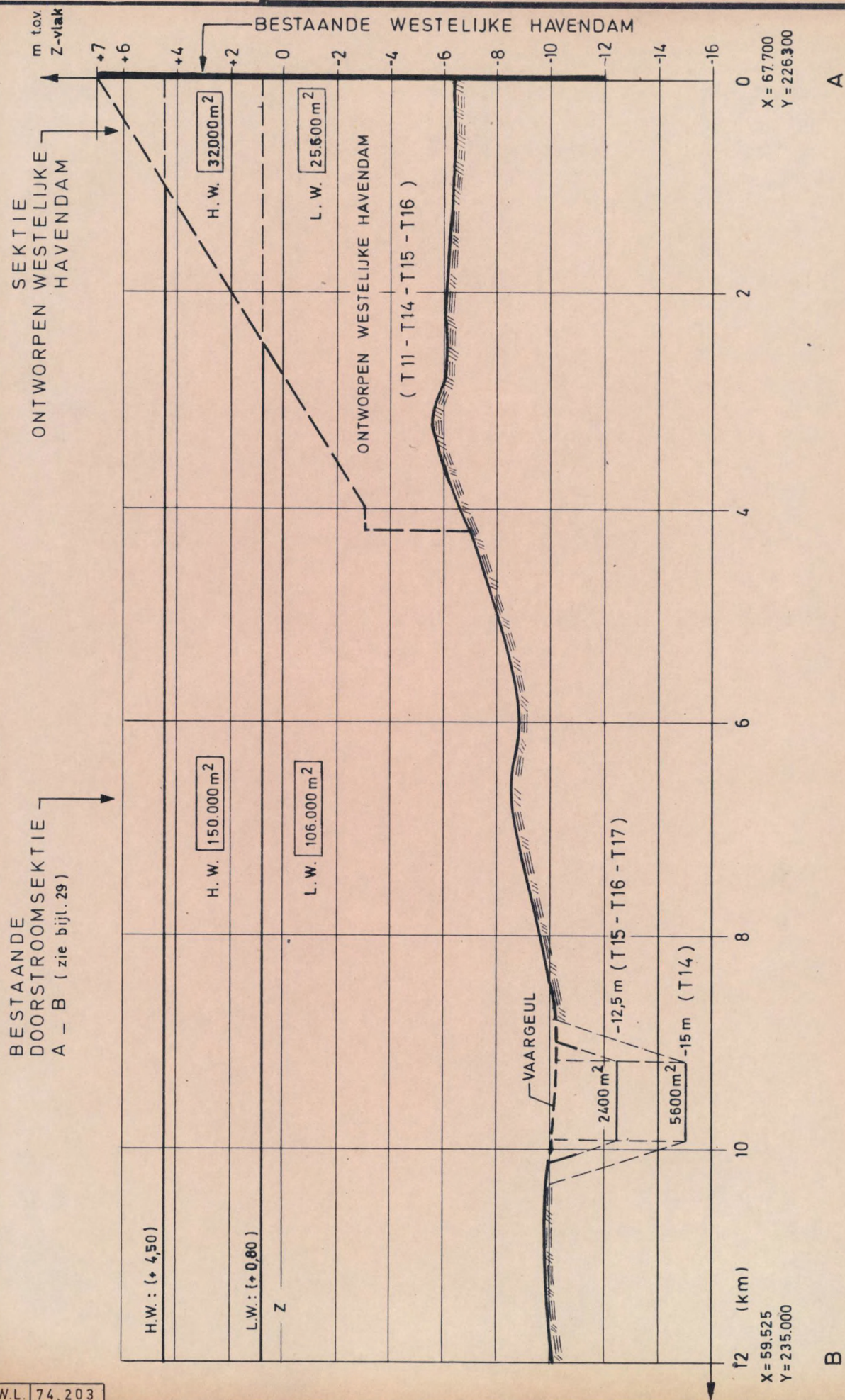


SCHALEN : Vertikaal 1/200

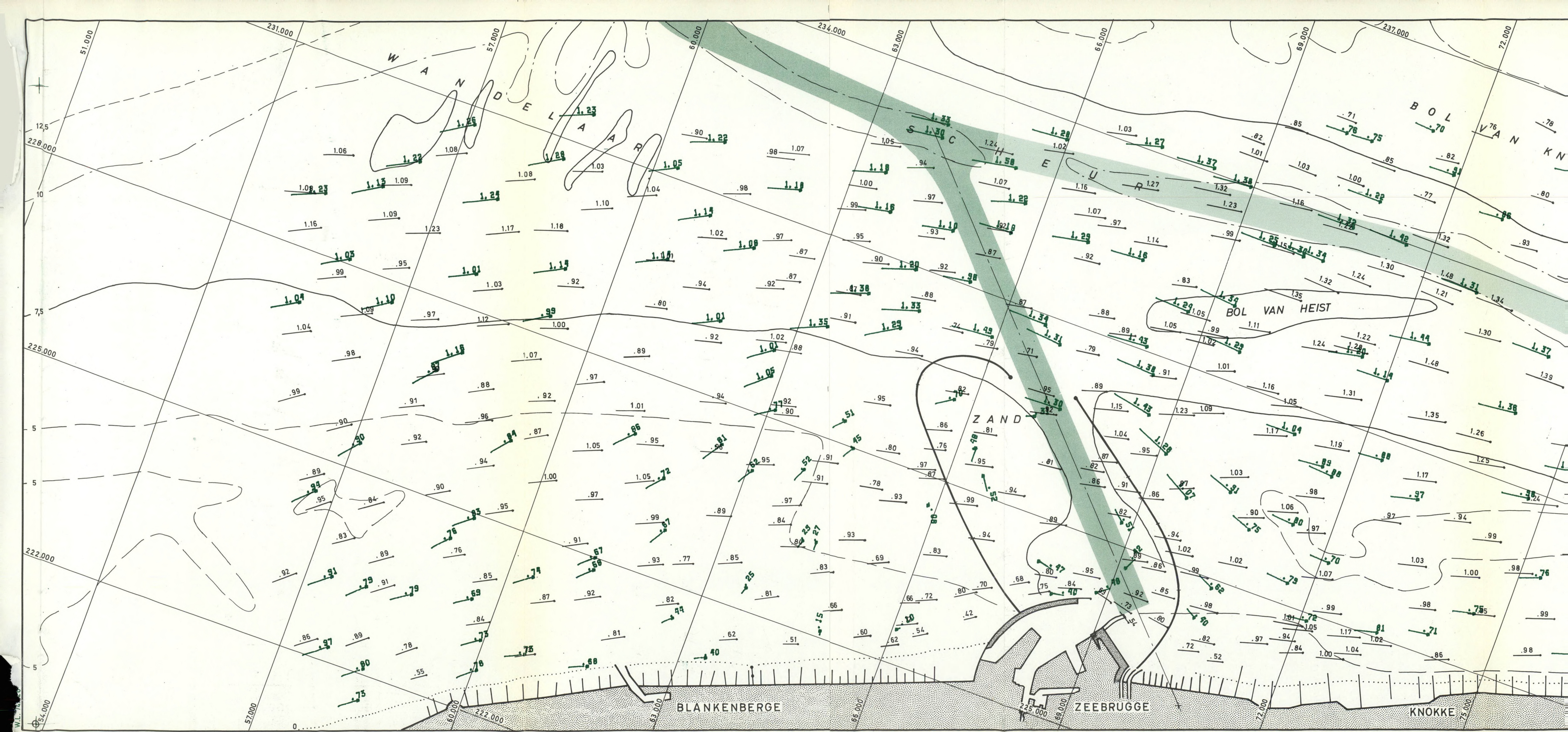
Horizontaal 1/50.000

DWARSPROFIEL

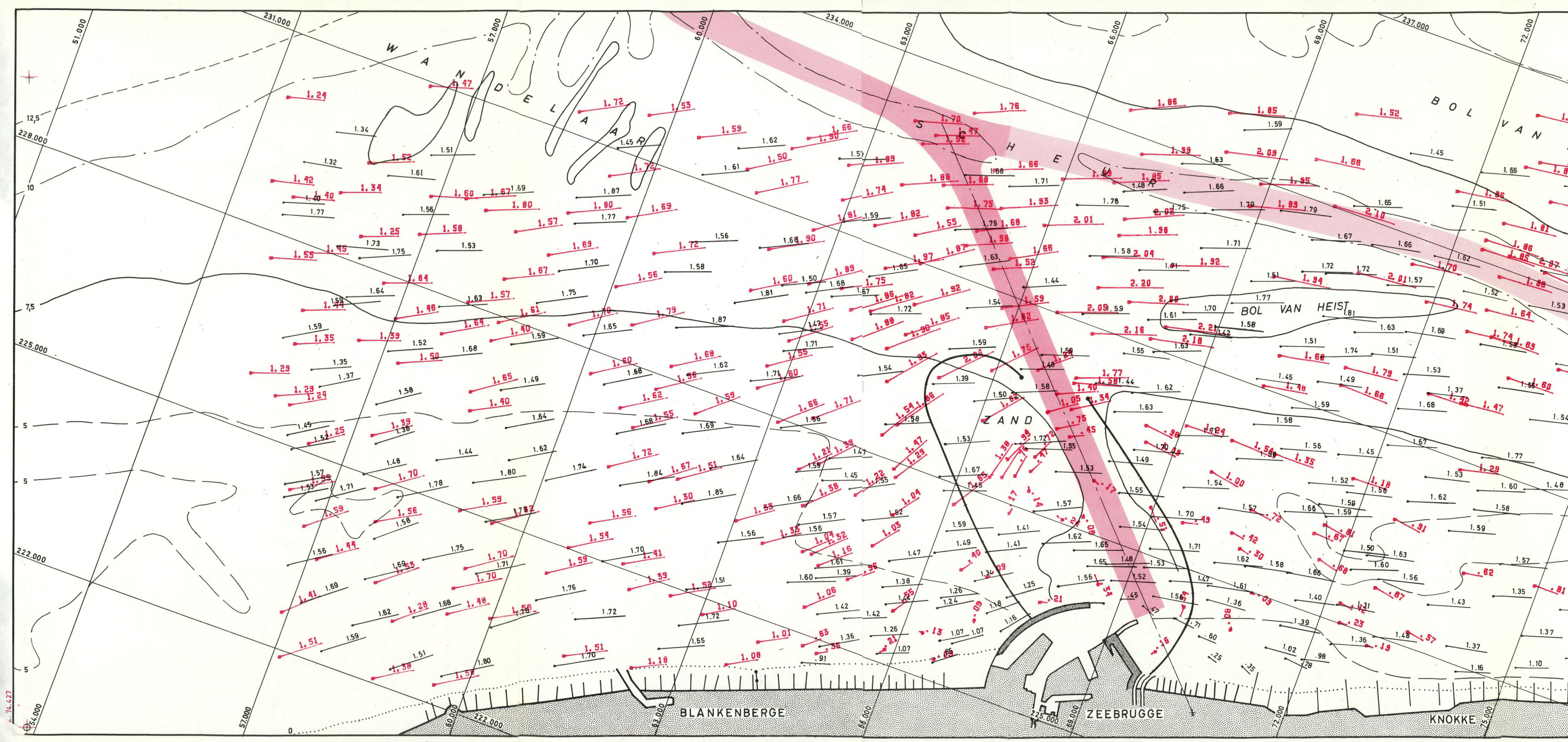
VERDIEPTE VAARGEUL - WESTELIJKE HAVENDAM









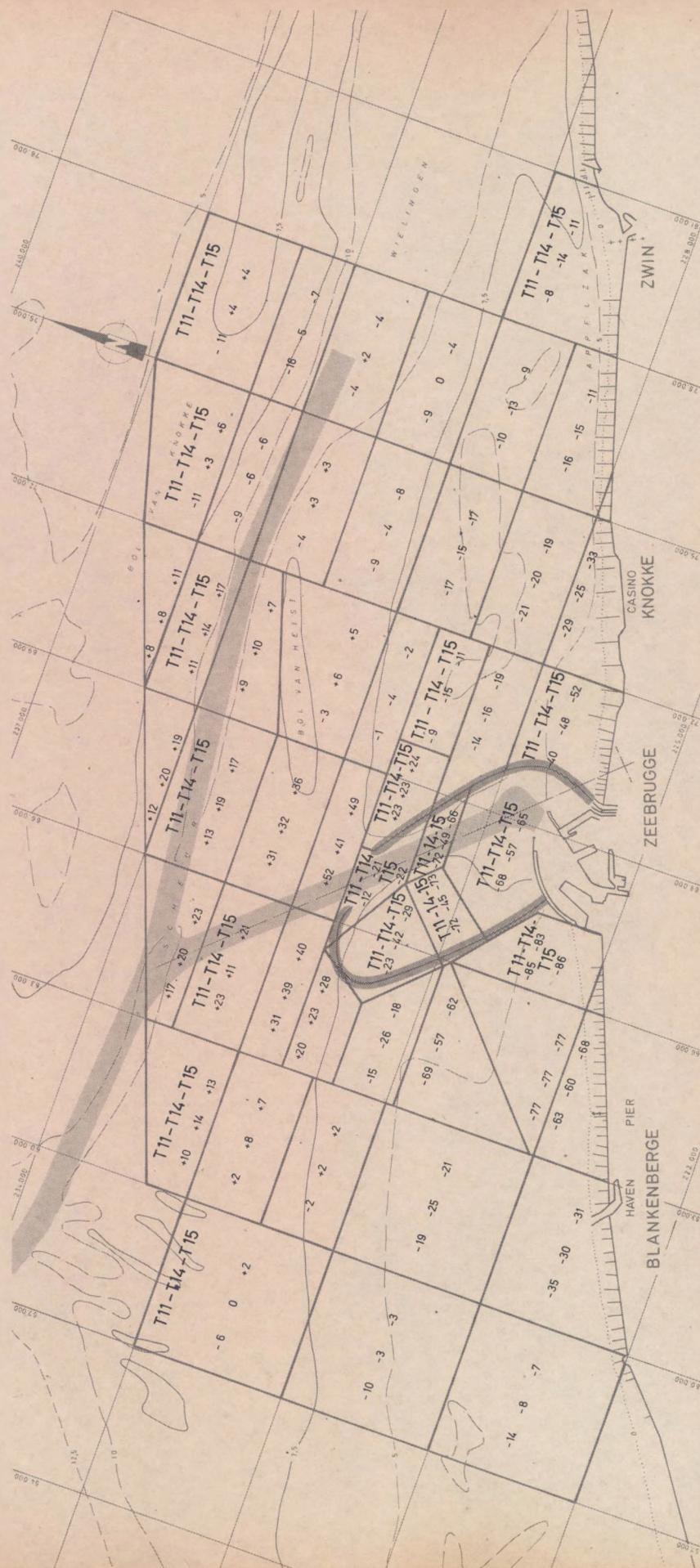




SCHAAL  
0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T11-14 en 15  
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





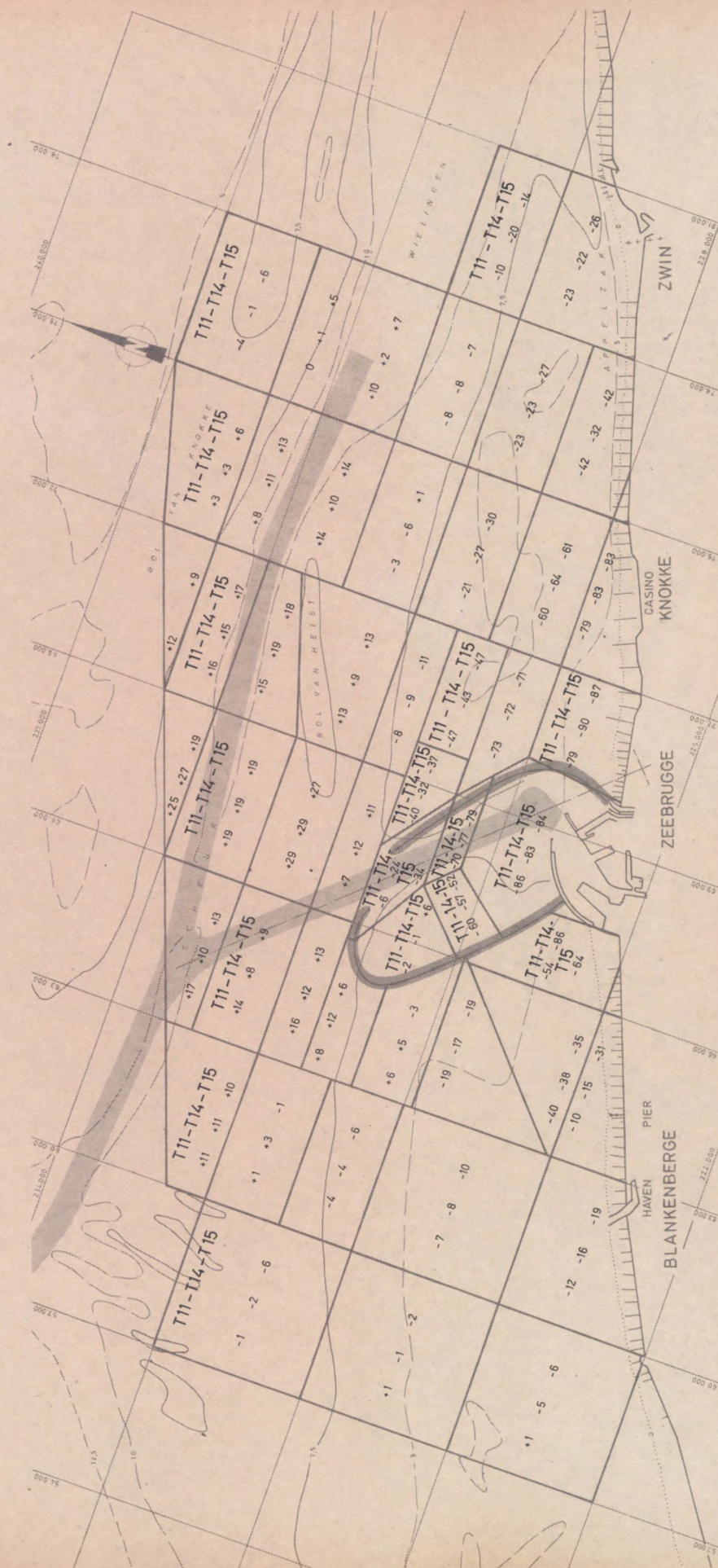
SCHAAL

0 1 2 3 km

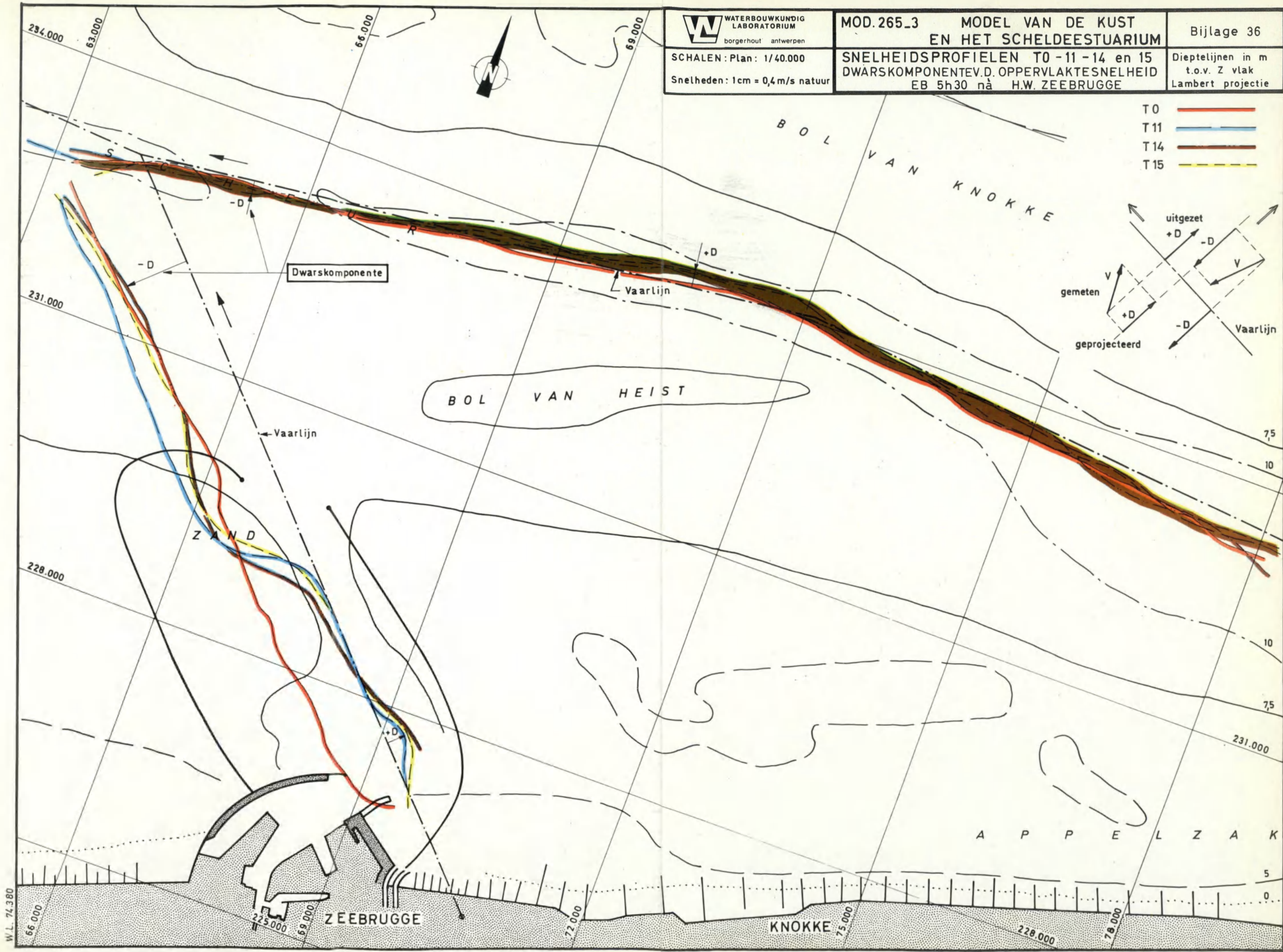
**SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0**  
voor T11- 14 en 15

VLOED 0h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie







WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

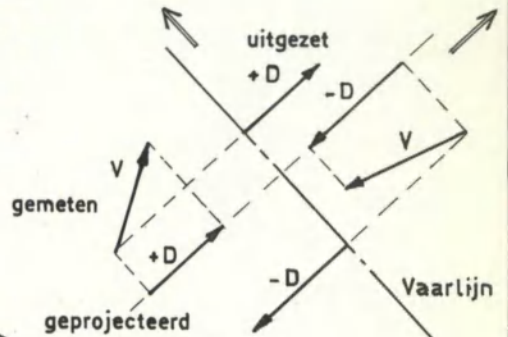
SCHALEN: Plan: 1/40.000  
Snelheden: 1cm = 0,4 m/s natuur

MOD. 265\_3 MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM  
SNELHEIDSPROFIELEN T0-11-14 en 15  
DWARSKOMPONENTEV.D. OPPERVLAKTESNELHEID  
EB 5h30 na H.W. ZEEBRUGGE

Bijlage 36

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

T0  
T11  
T14  
T15



Dwarskomponente

Vaarlijn

Vaarlijn

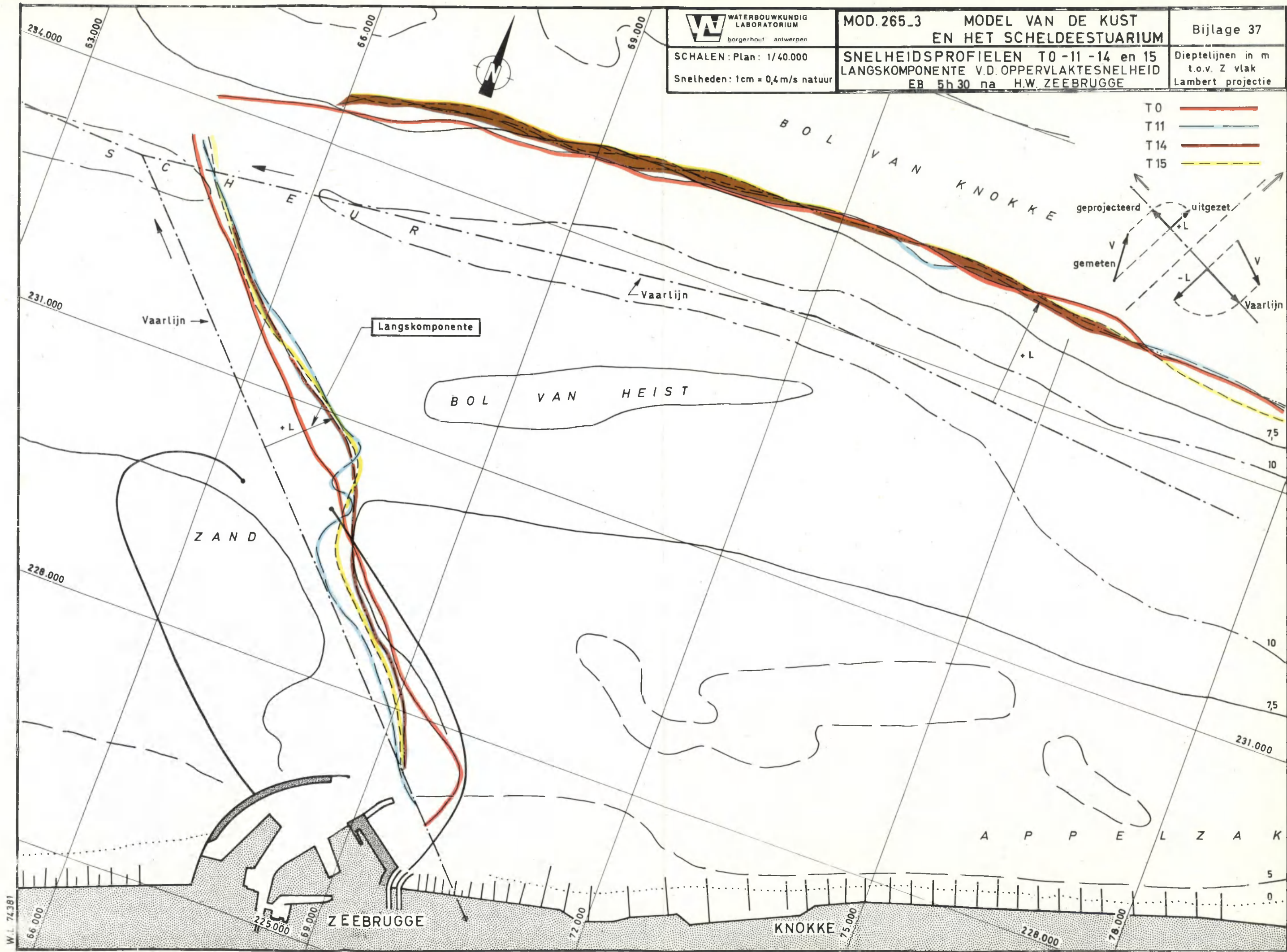
Z A N D

ZEEBRUGGE

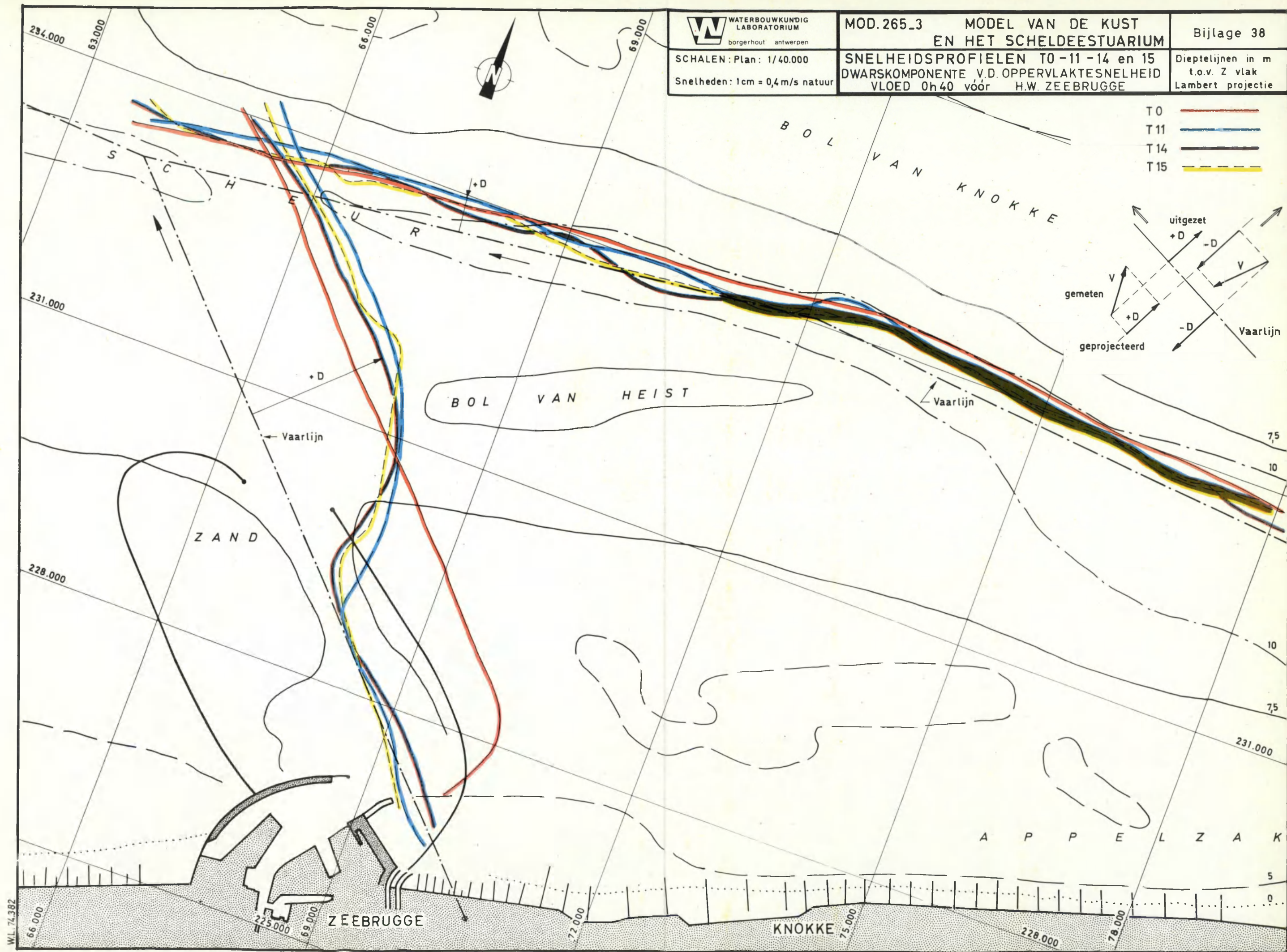
KNOCKE

A P P E L Z A K

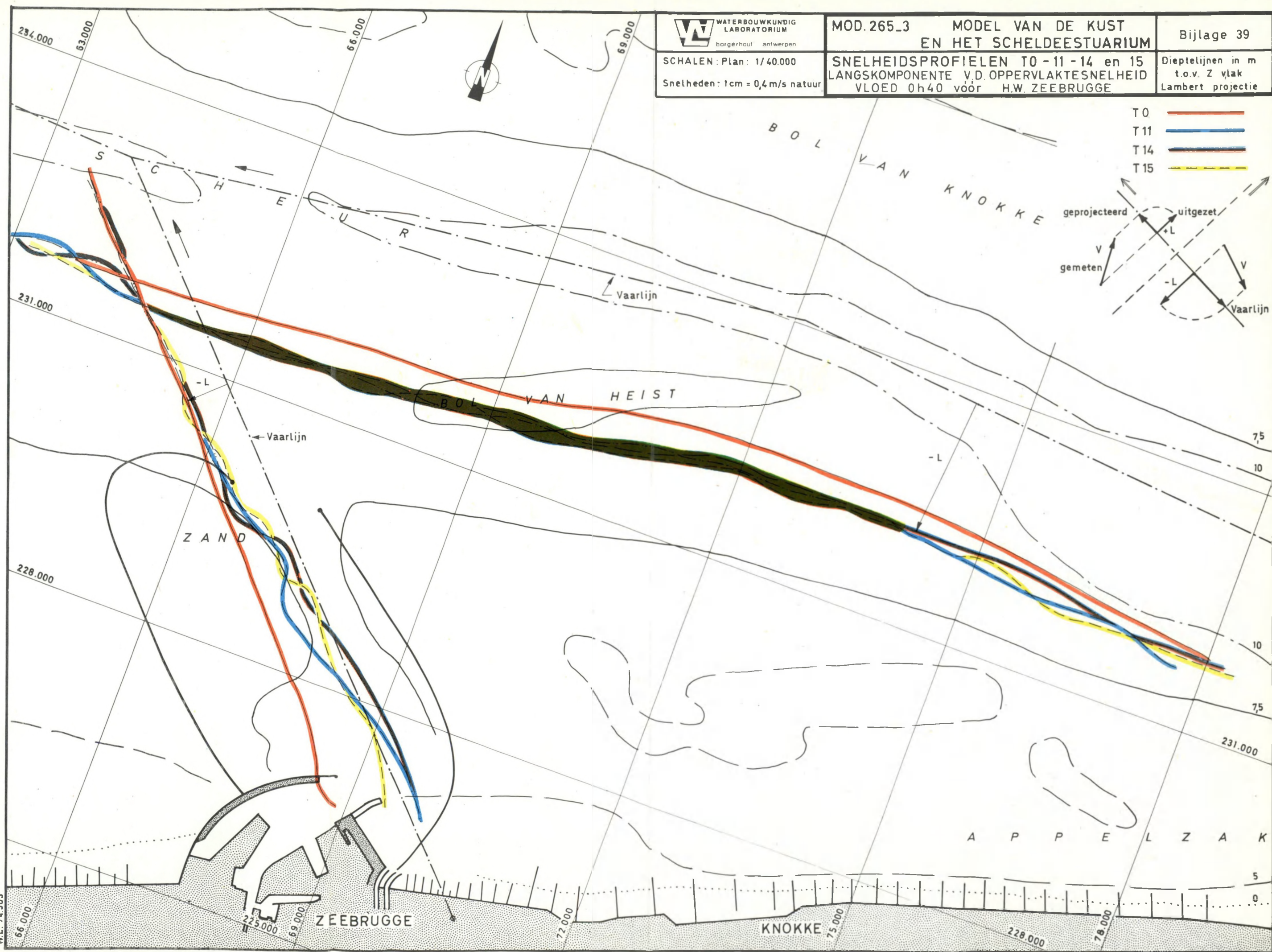






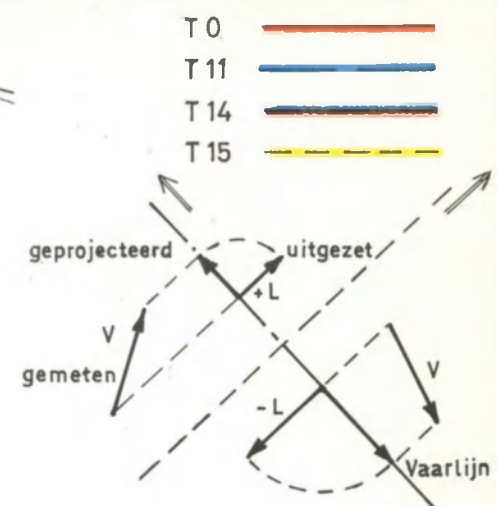






SCHALEN: Plan: 1/40.000  
Snelheden: 1 cm = 0,4 m/s natuur

MOD. 265_3	MODEL VAN DE KUST EN HET SCHELDEESTUARIUM	Bijlage 39
SNELHEIDSPROFIELEN T0 - 11 - 14 en 15 LANGSKOMPONENTE V.D. OPPERVLAKTESNELHEID VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE		Dieptelijnen in m t.o.v. Z vlak Lambert projectie



W.L. 74.383





WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD.265\_3

MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 40

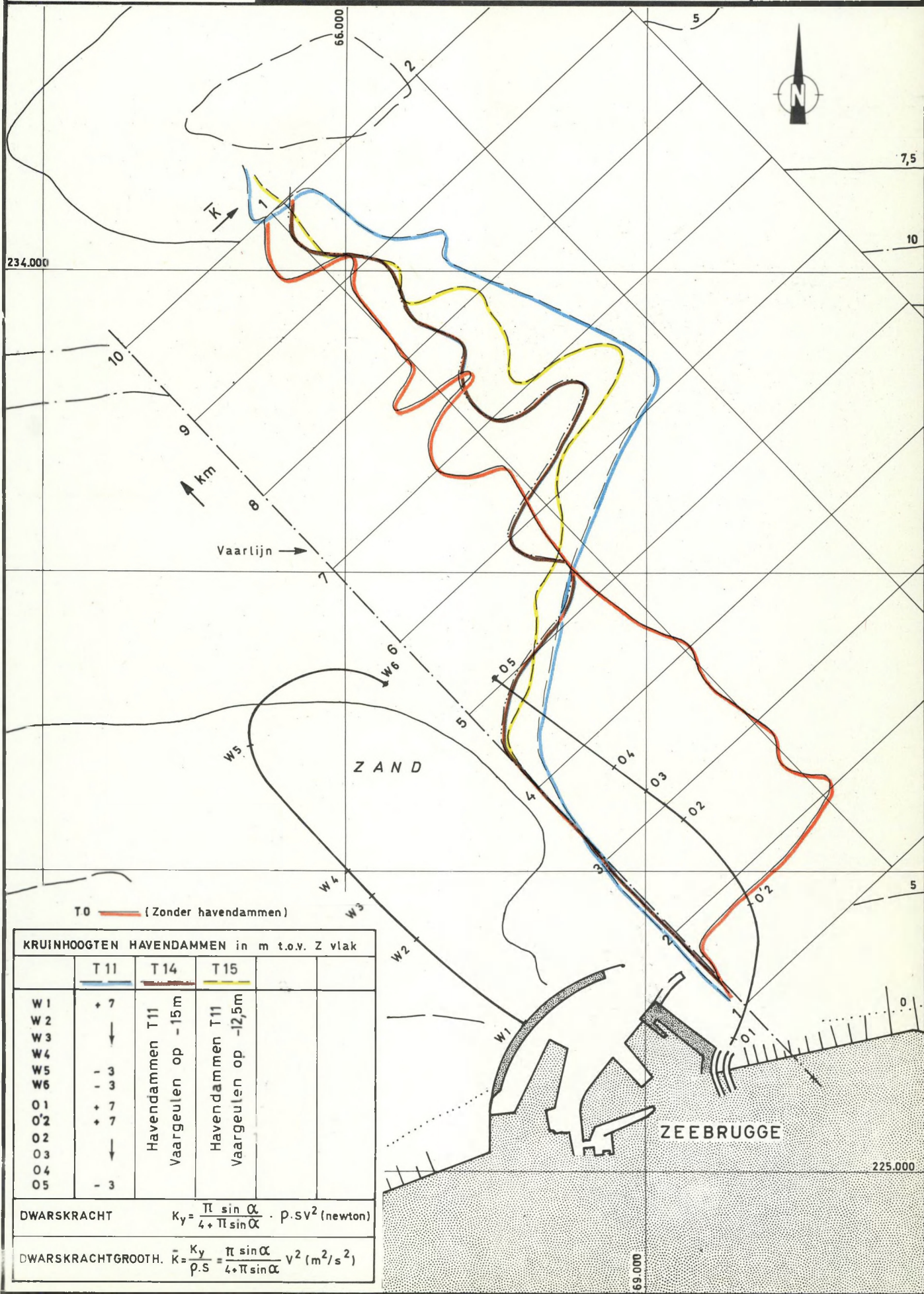
SCHALEN : Plan 1/50.000

DWARSKRACHTLIJNEN T0 -11 -14 en 15

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Dwarskrachtgr.  $1\text{cm} = 0,25\text{ m}^2/\text{s}^2$

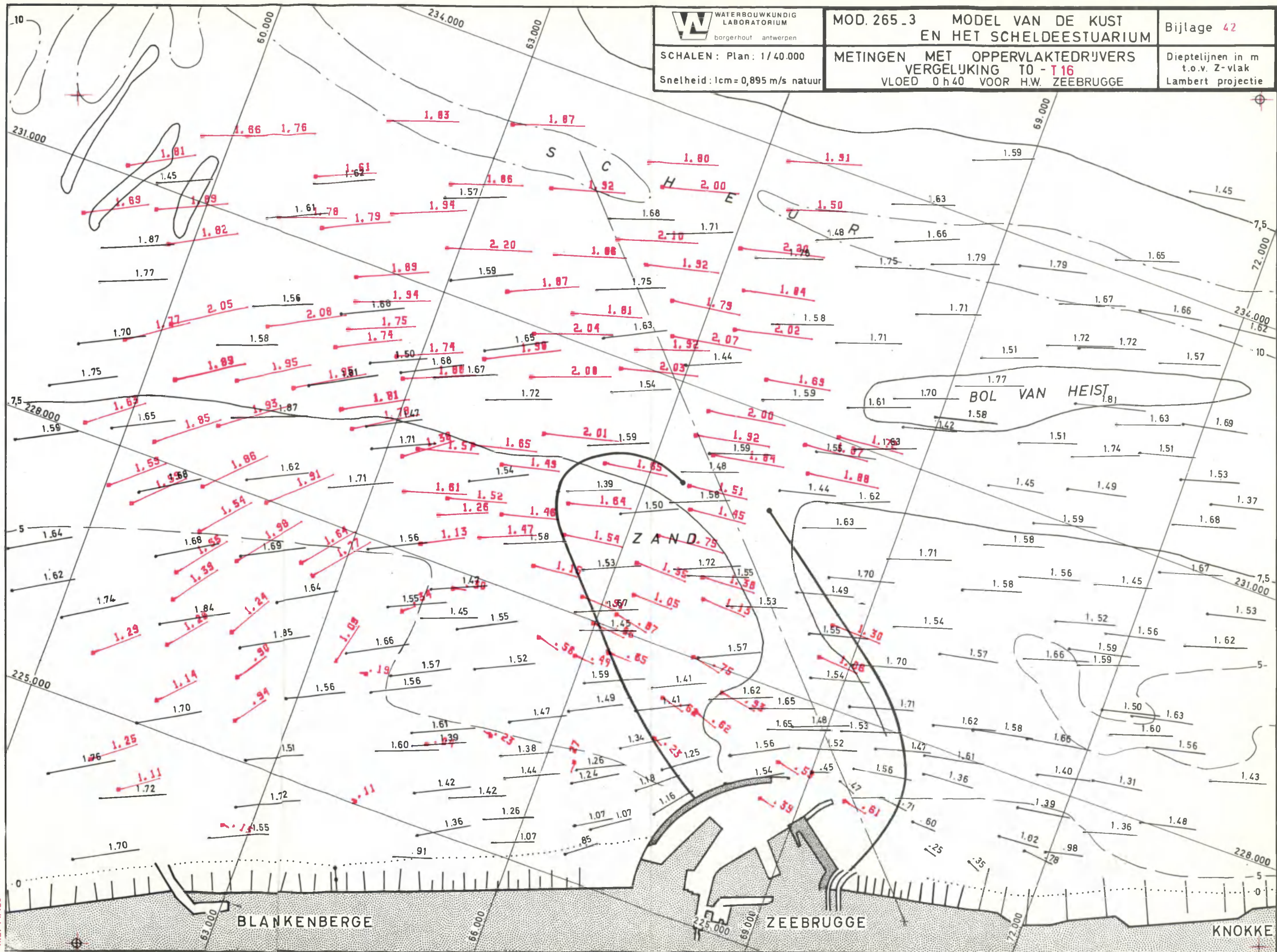
VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE











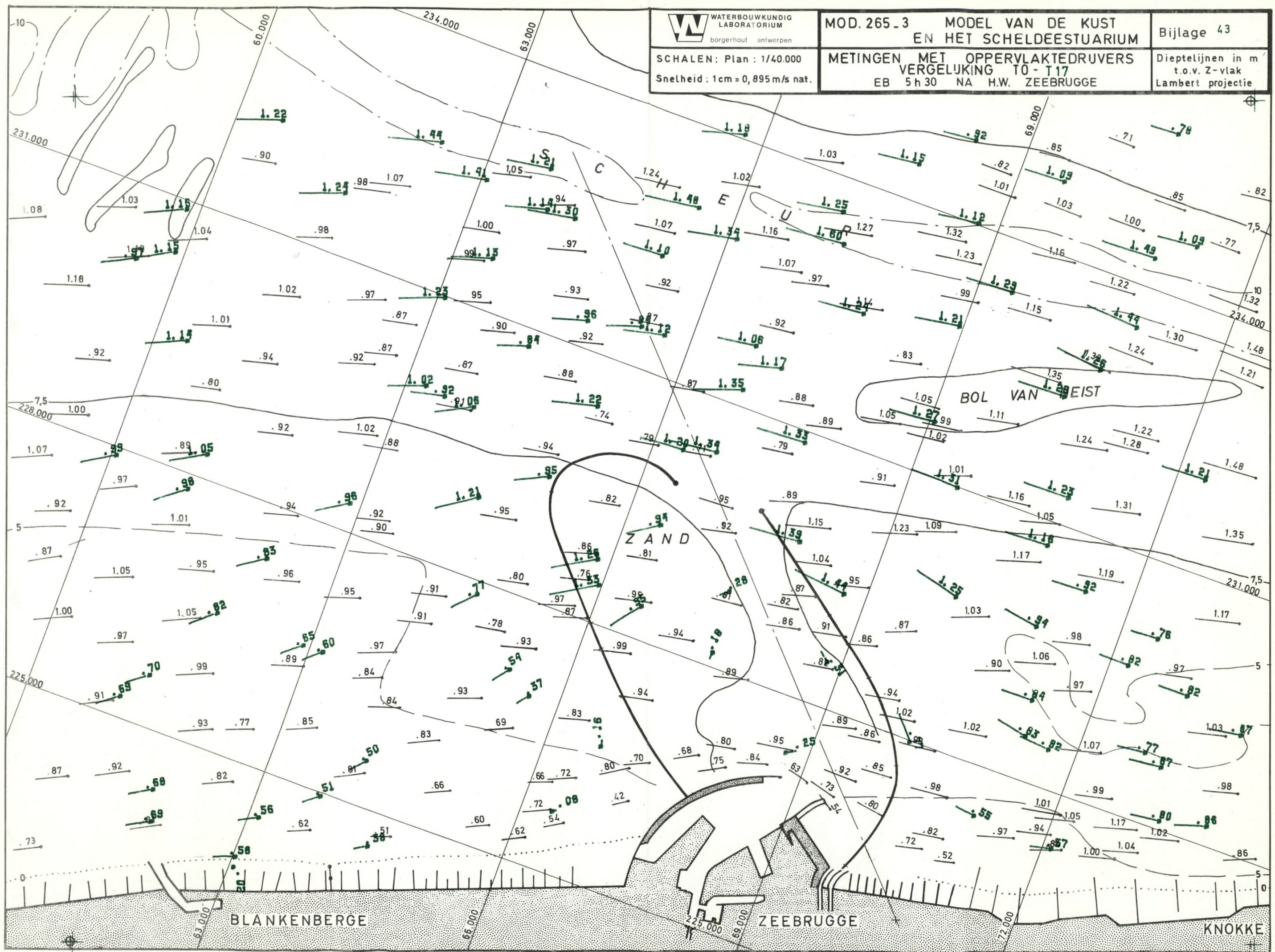
**W** WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen  
SCHALEN: Plan: 1/40.000  
Snelheid: 1cm = 0,895 m/s natuur

MOD. 265\_3 MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM  
METINGEN MET OPPERVLAKTEDRIJVERS  
VERGELIJKING T0 - T16  
VLOED 0h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Bijlage 42  
Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie

WL 74.429









WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD. 265\_3

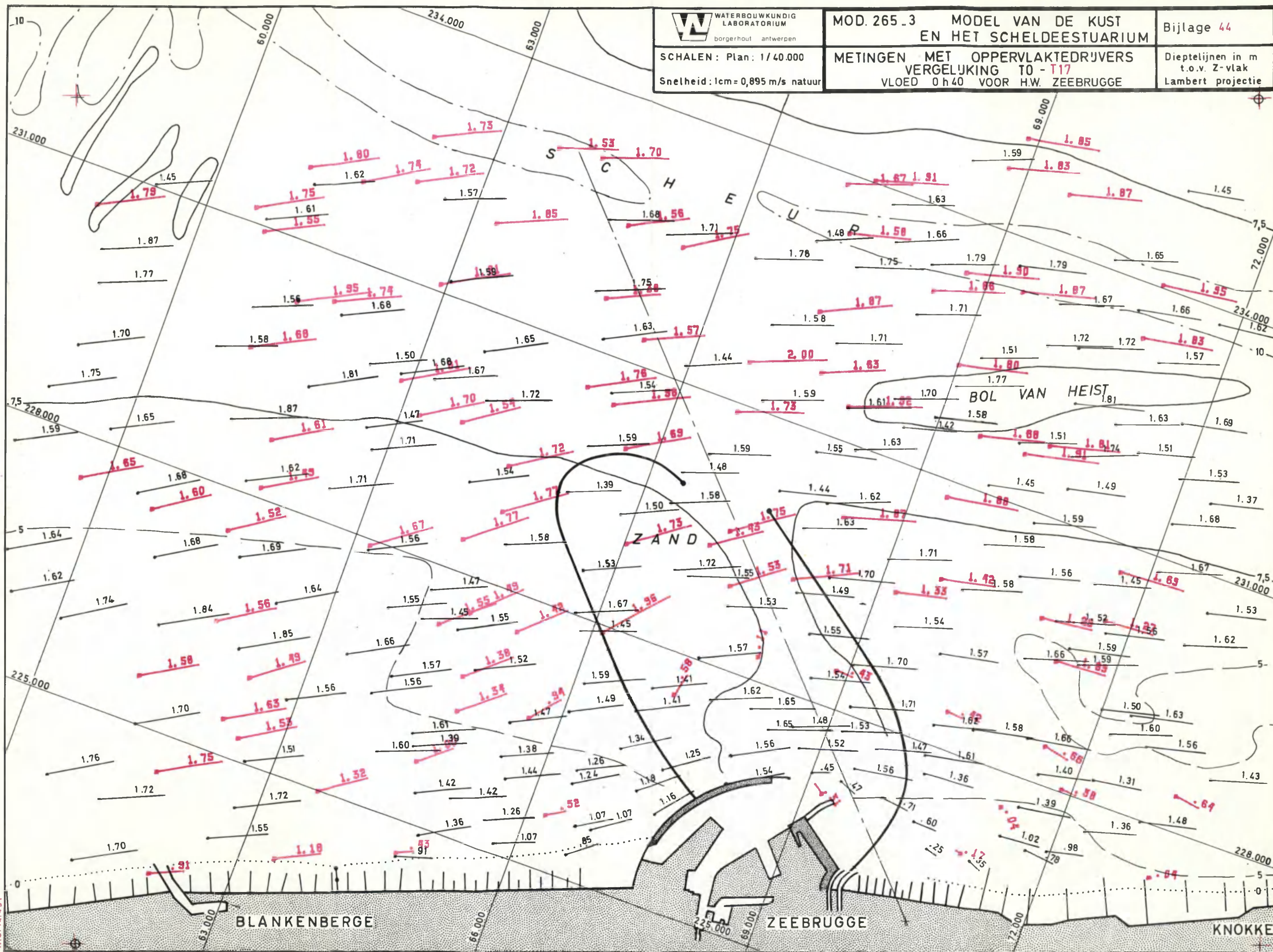
MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 44

SCHALEN: Plan: 1/40.000

METINGEN MET OPPERVLAKTEDRIJVERS  
VERGELIJKING T0 - T17  
VLOED 0 h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie







WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD. 265.3 MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 45

SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T15 -16 en 17  
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie







SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. 10  
voor T15-16 en 17  
VLOED 0 h40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





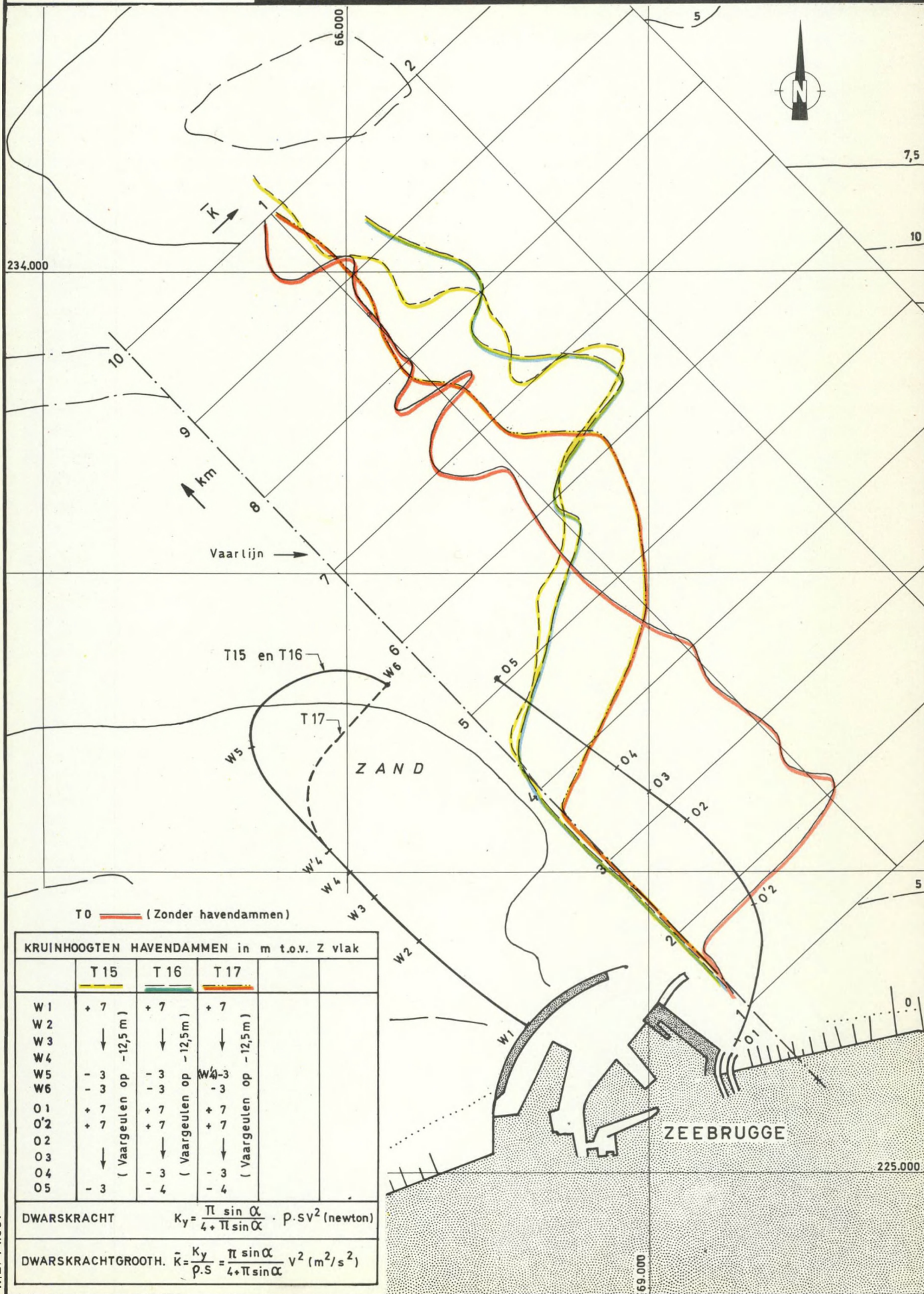


SCHALEN: Plan 1/50.000

Dwarskrachtgr.  $1\text{cm} = 0,25\text{m}^2/\text{s}^2$

DWARSKRACHTLIJNEN T0 -15 -16 en 17  
VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie





SCHALEN: Plan 1/100.000

Model : Horizontaal 1/1.000

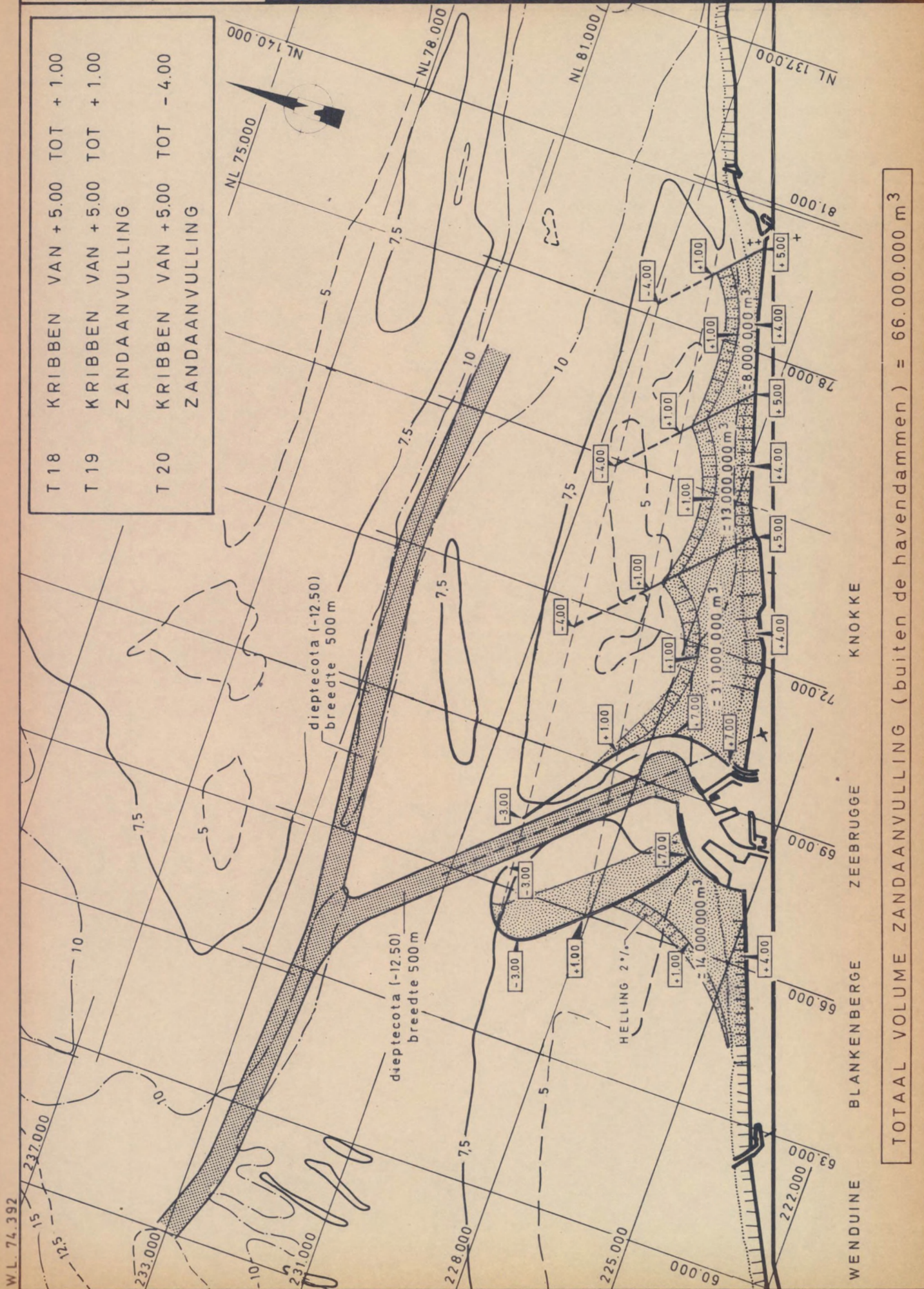
Vertikaal 1 / 125

# SITUATIEPLAN MET INPLANTING VAN DE HAVENDAMMEN, DE VAARGEULEN EN DE STRANDKRIBBEN

Dieptelijnen in m

t.o.v. Z vlak

Lambert projectie







WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD. 265\_3 MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

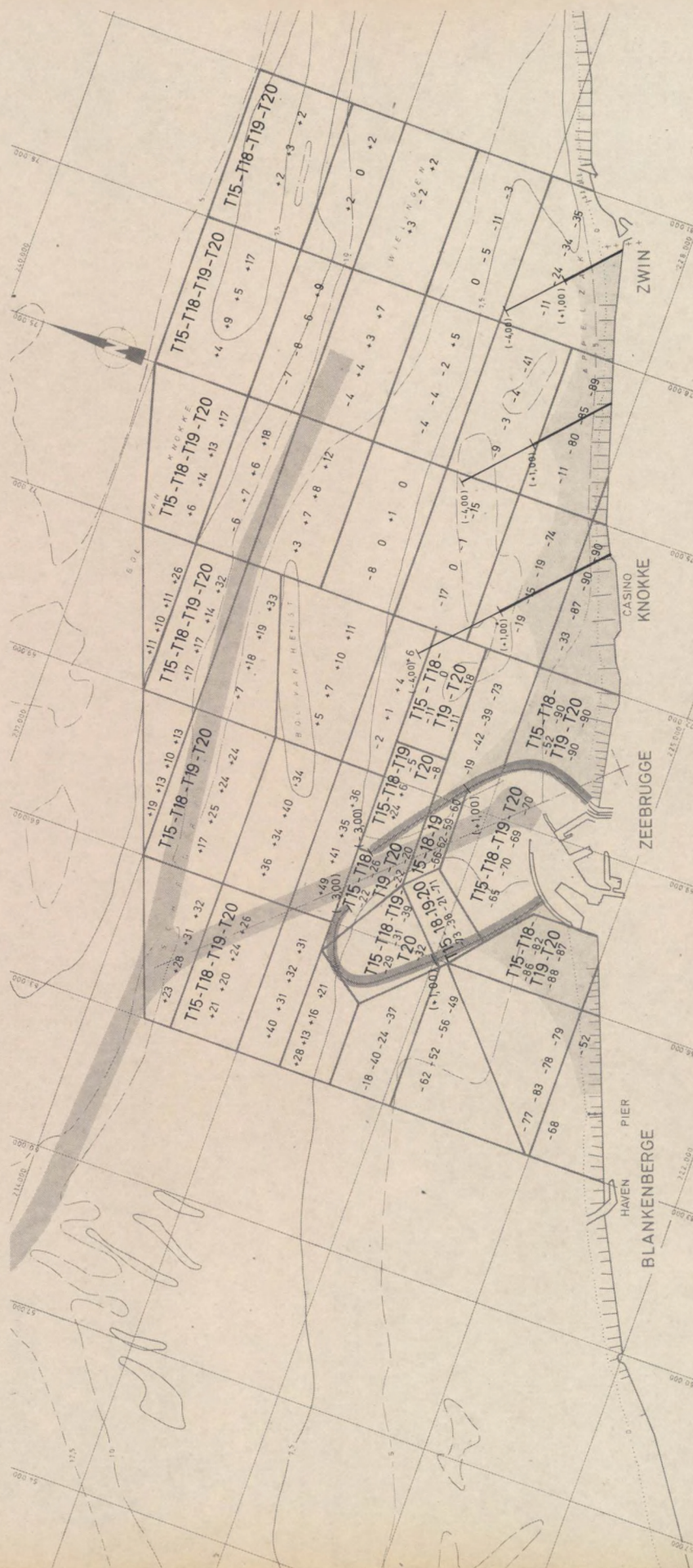
Bijlage 49

SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T15 - 18 - 19 en 20  
EB 5h30 NA H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie







WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM

borgerhout antwerpen

MOD. 265\_3

MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

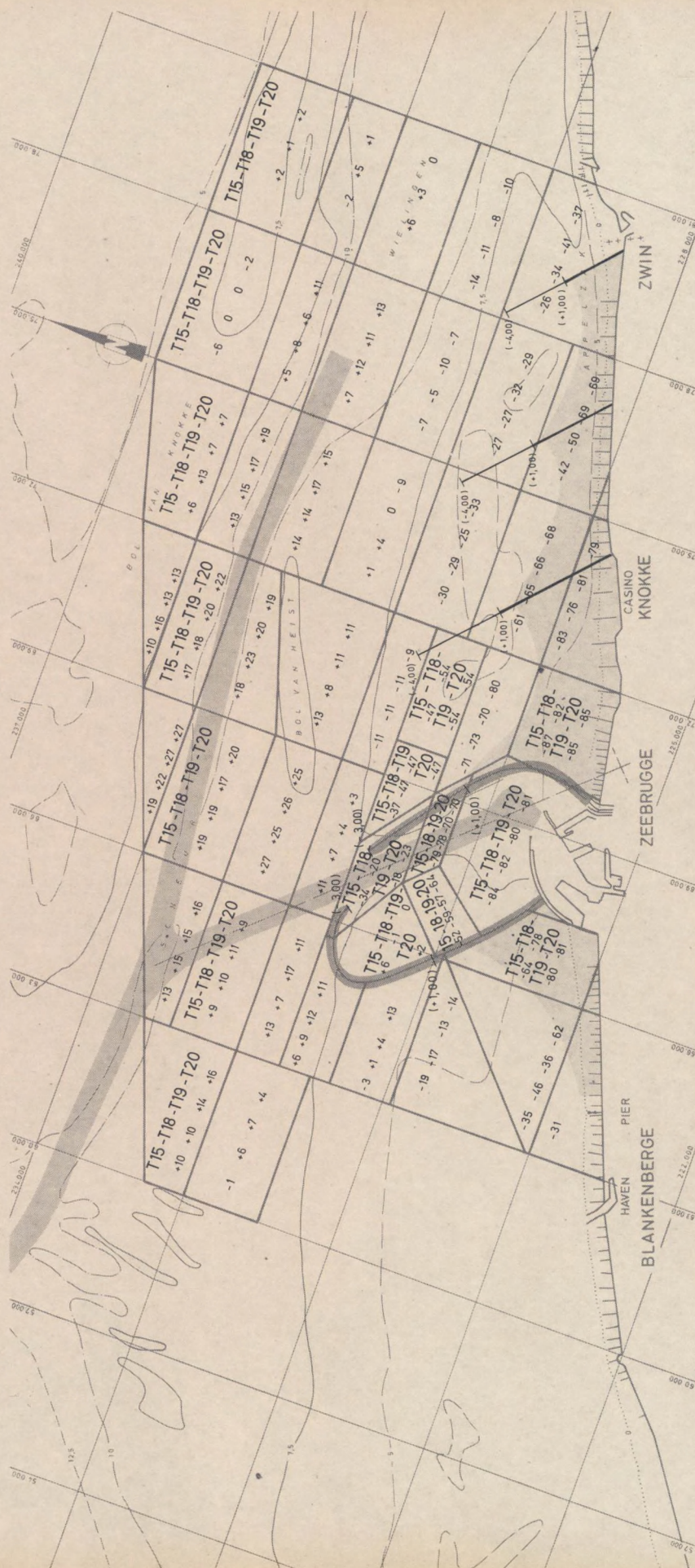
Bijlage 50

SCHAAL

0 1 2 3 km

SNELHEIDSVERANDERING in % t.o.v. T0  
voor T15 - 18 - 19 en 20  
VLOED 0 h 40 VOOR H.W. ZEEBRUGGE

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





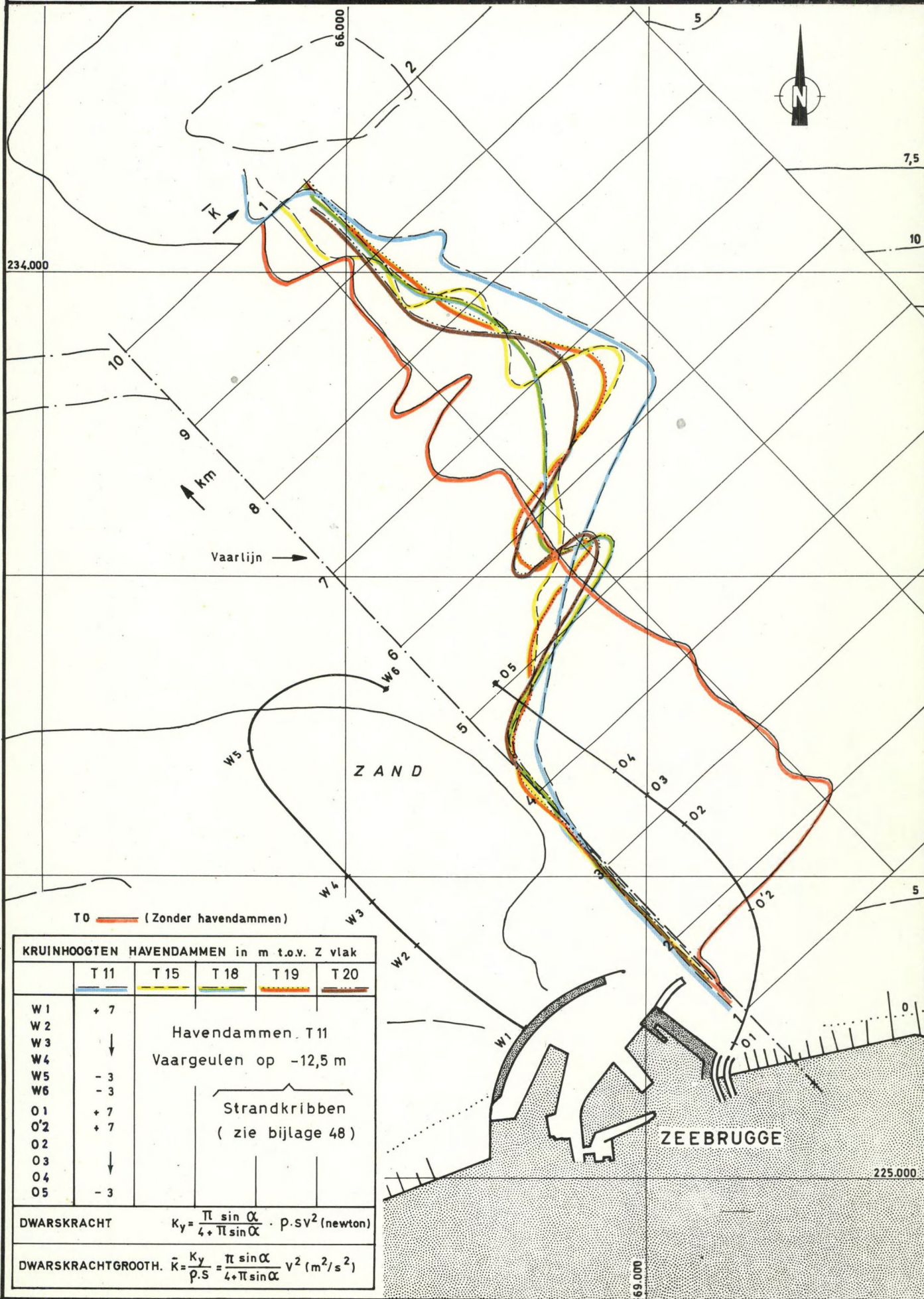
SCHALEN : Plan 1/50.000

DWARSKRACHTLIJNEN T0-11-15-18-19 en 20

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Dwarskrachtgr.  $1\text{cm} = 0,25\text{m}^2/\text{s}^2$

VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE



T0 — (Zonder havendammen)

KRUINHOOGTEN HAVENDAMMEN in m t.o.v. Z vlak					
	T 11	T 15	T 18	T 19	T 20
W 1	+ 7				
W 2					
W 3	↓				
W 4					
W 5	- 3				
W 6	- 3				
O 1	+ 7				
O'2	+ 7				
O 2					
O 3	↓				
O 4					
O 5	- 3				

Havendammen T11  
Vaargeulen op -12,5 m

Strandkribben  
( zie bijlage 48 )

DWARSKRACHT  $K_y = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \cdot p \cdot s \cdot v^2$  (newton)

DWARSKRACHTGROOTH.  $\bar{K} = \frac{K_y}{p \cdot s} = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} v^2$  ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ )





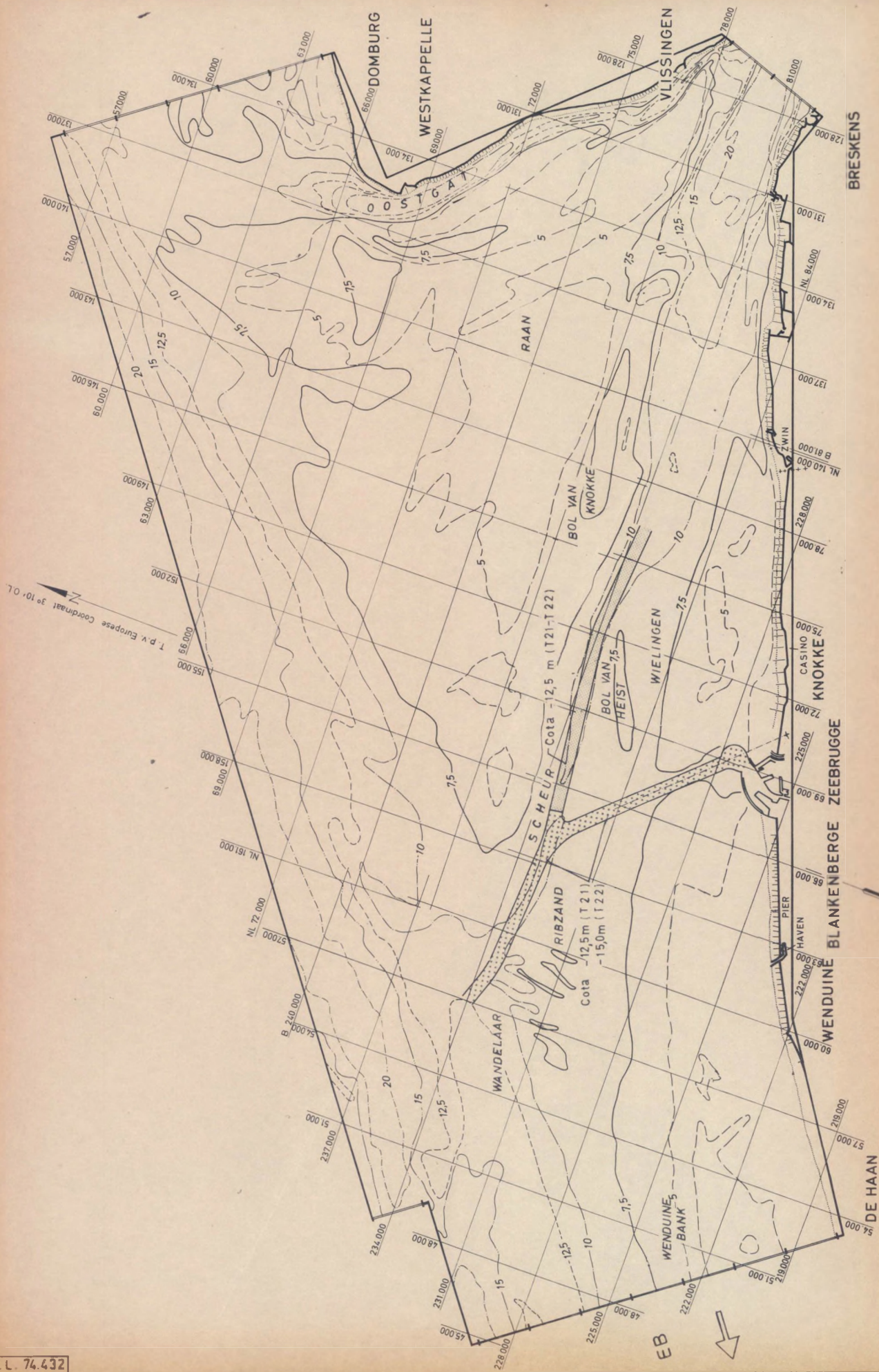
SCHALEN : Plan 1/200.000

Model : Horizontaal 1/1.000

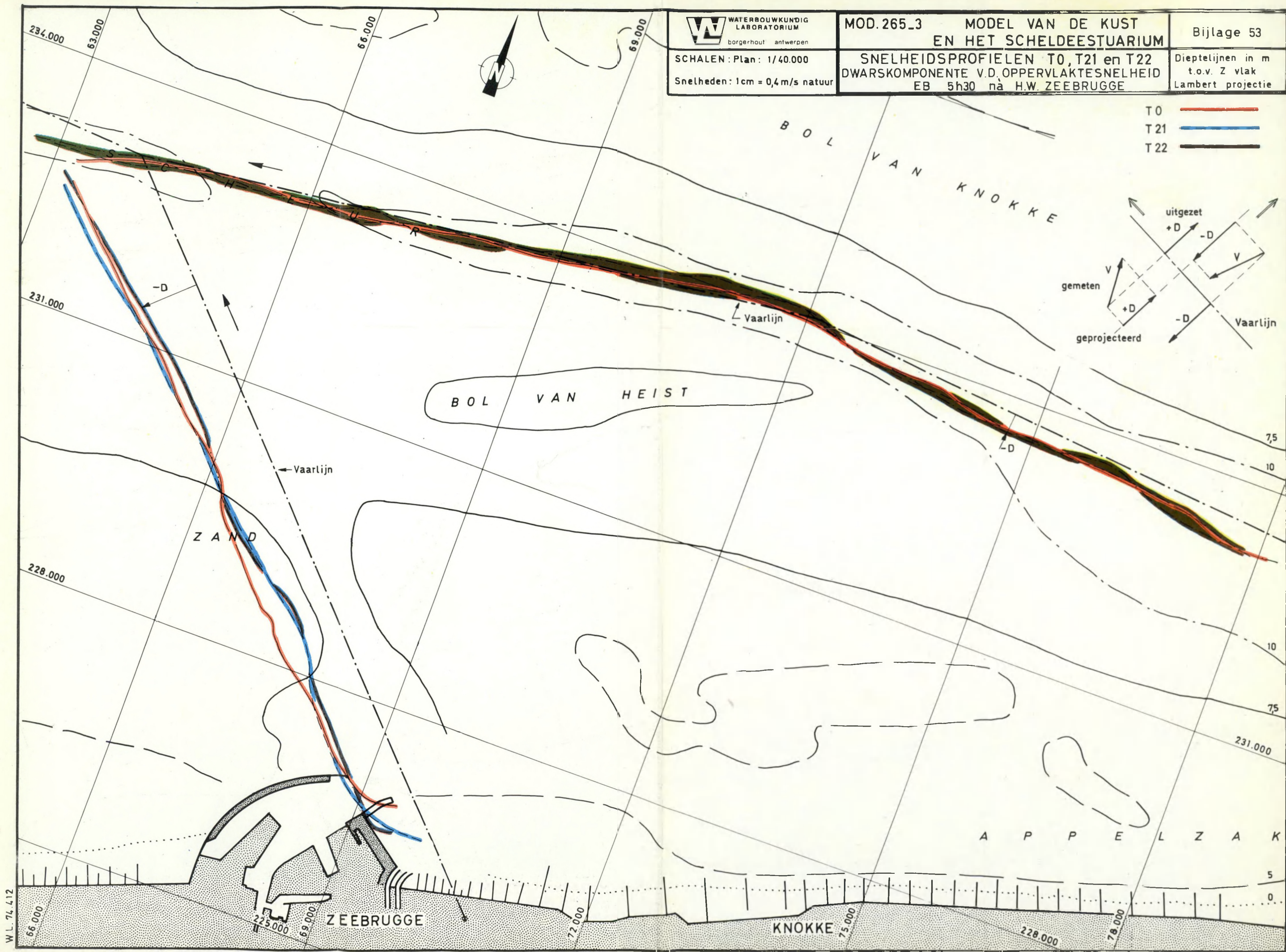
Vertikaal 1/125

SITUATIEPLAN MET INPLANTING VAN DE  
VAARGEULEN ZONDER HAVENDAMMEN

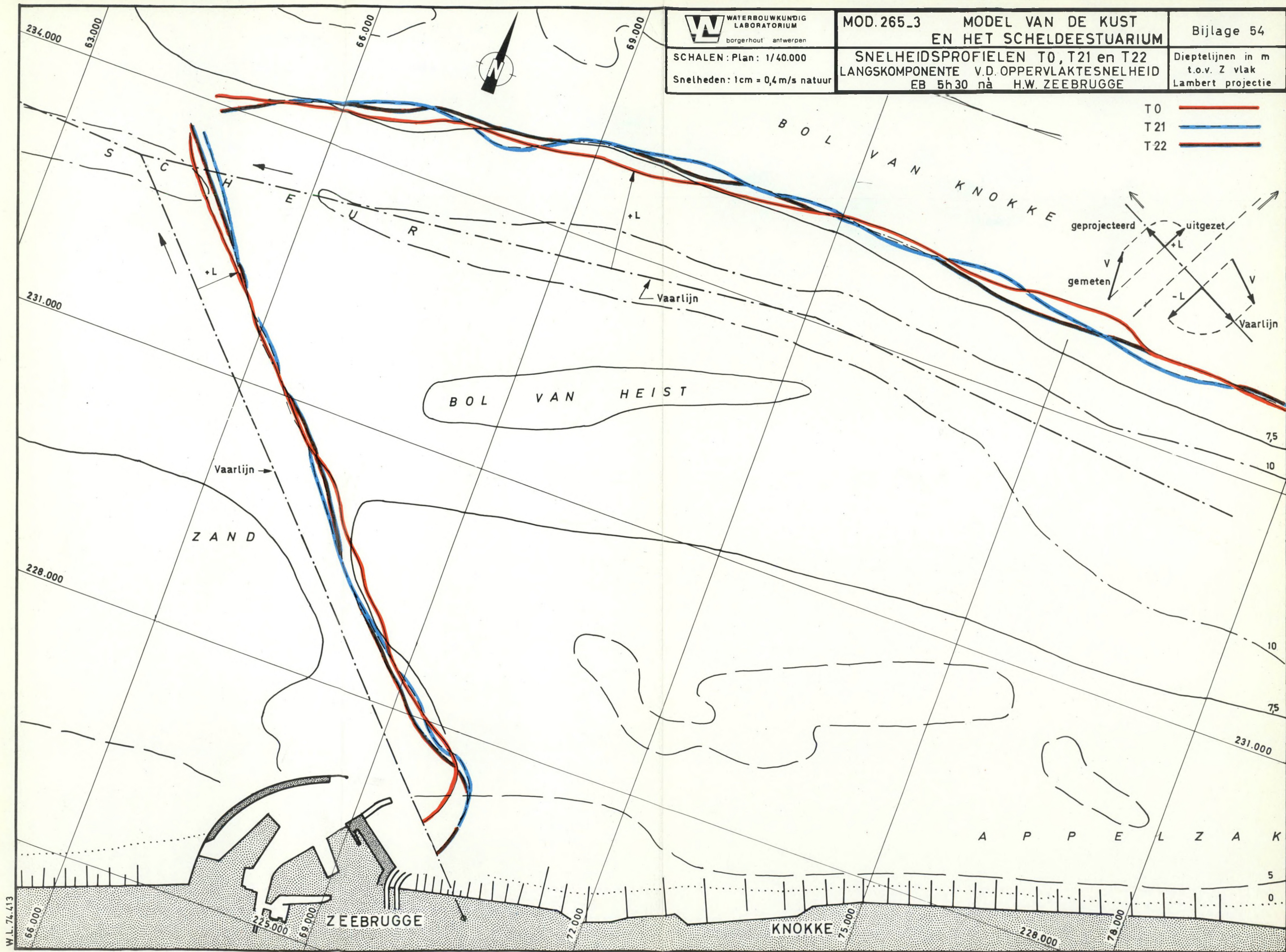
Dieptelijnen in  
m tov. Z vlak  
Lambert projectie



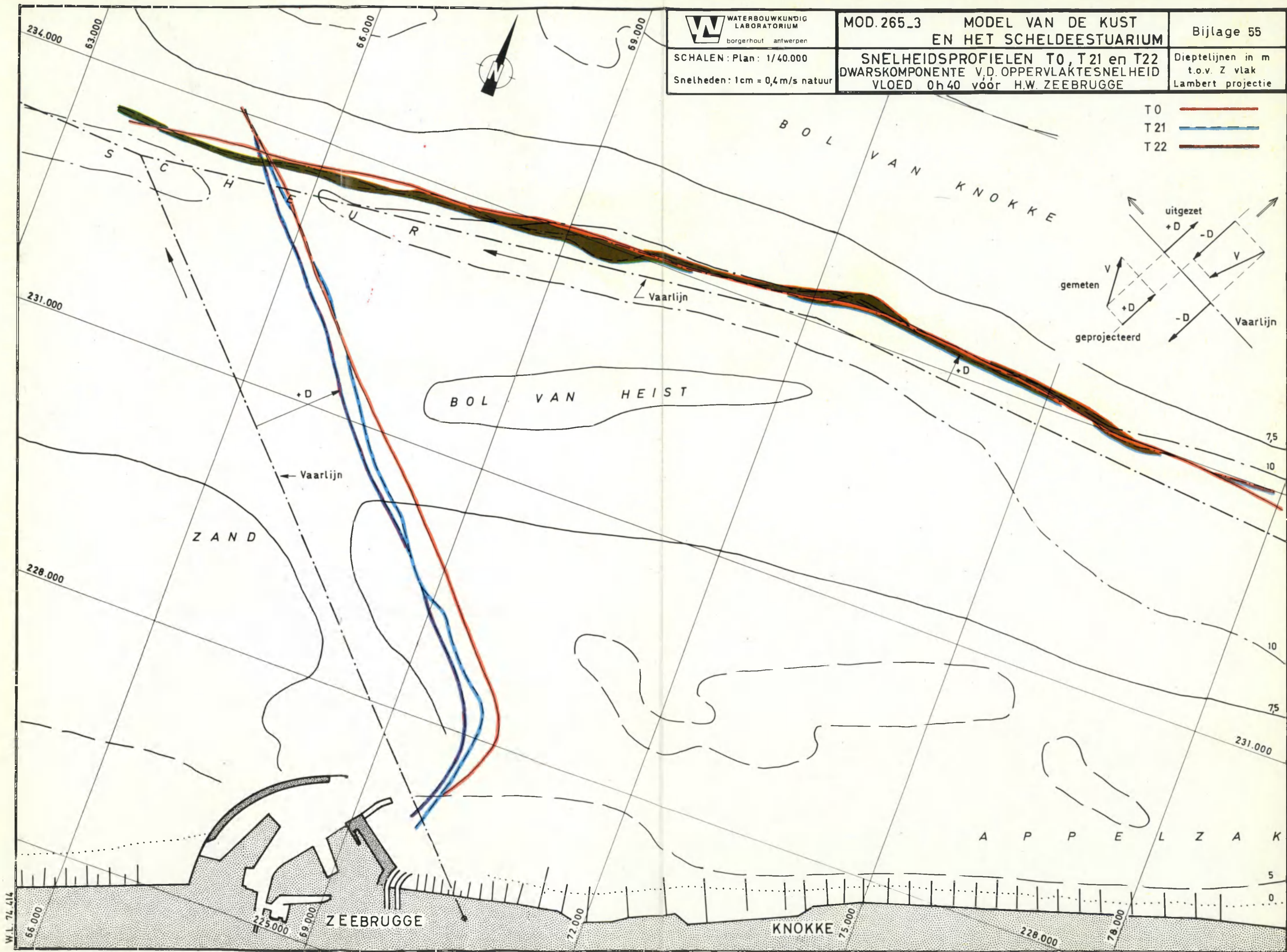




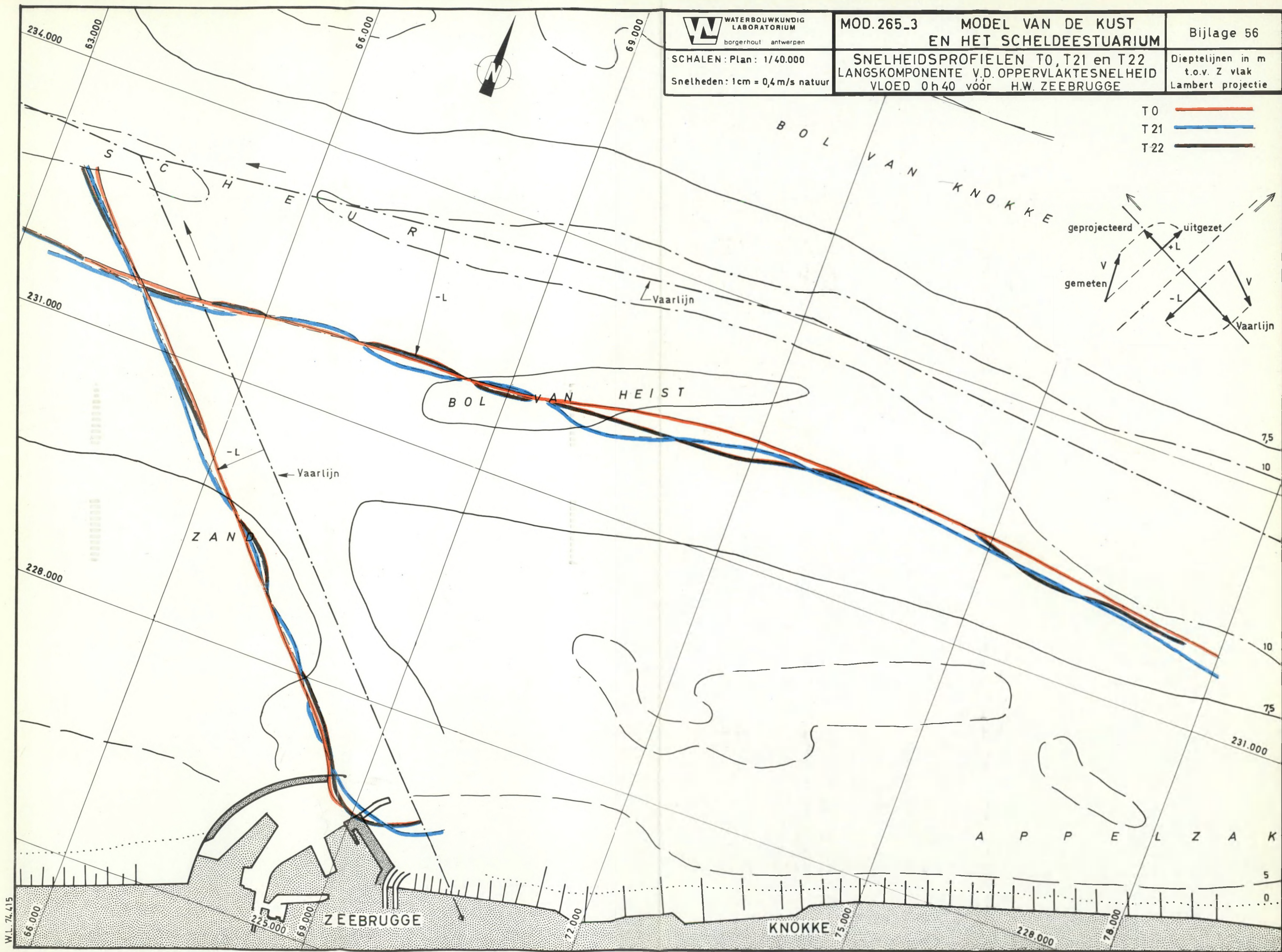
















WATERBOUWKUNDIG  
LABORATORIUM  
borgerhout antwerpen

MOD.265\_3

MODEL VAN DE KUST  
EN HET SCHELDEESTUARIUM

Bijlage 57

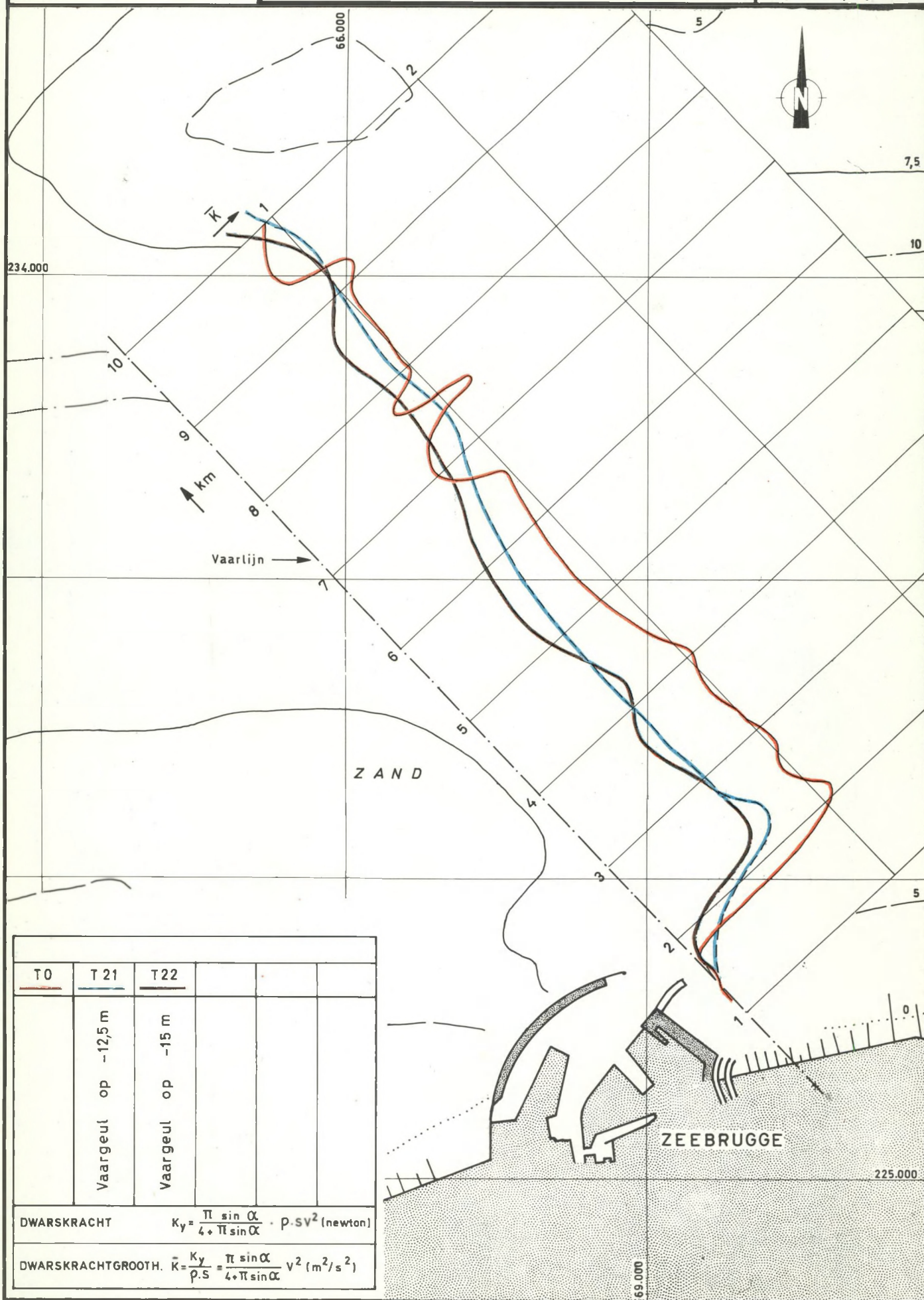
SCHALEN : Plan 1/ 50.000

DWARSKRACHTLIJNEN T0 - T21 - T22

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z vlak  
Lambert projectie

Dwarskrachtgr.  $1\text{cm} = 0,25\text{m}^2/\text{s}^2$

VLOED 0h40 vóór H.W. ZEEBRUGGE



T0	T21	T22			
	Vaargeul op -12,5 m	Vaargeul op -15 m			
DWARSKRACHT $K_y = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \cdot p \cdot v^2$ (newton)					
DWARSKRACHTGROOTH. $K = \frac{K_y}{p \cdot s} = \frac{\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} v^2$ ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ )					

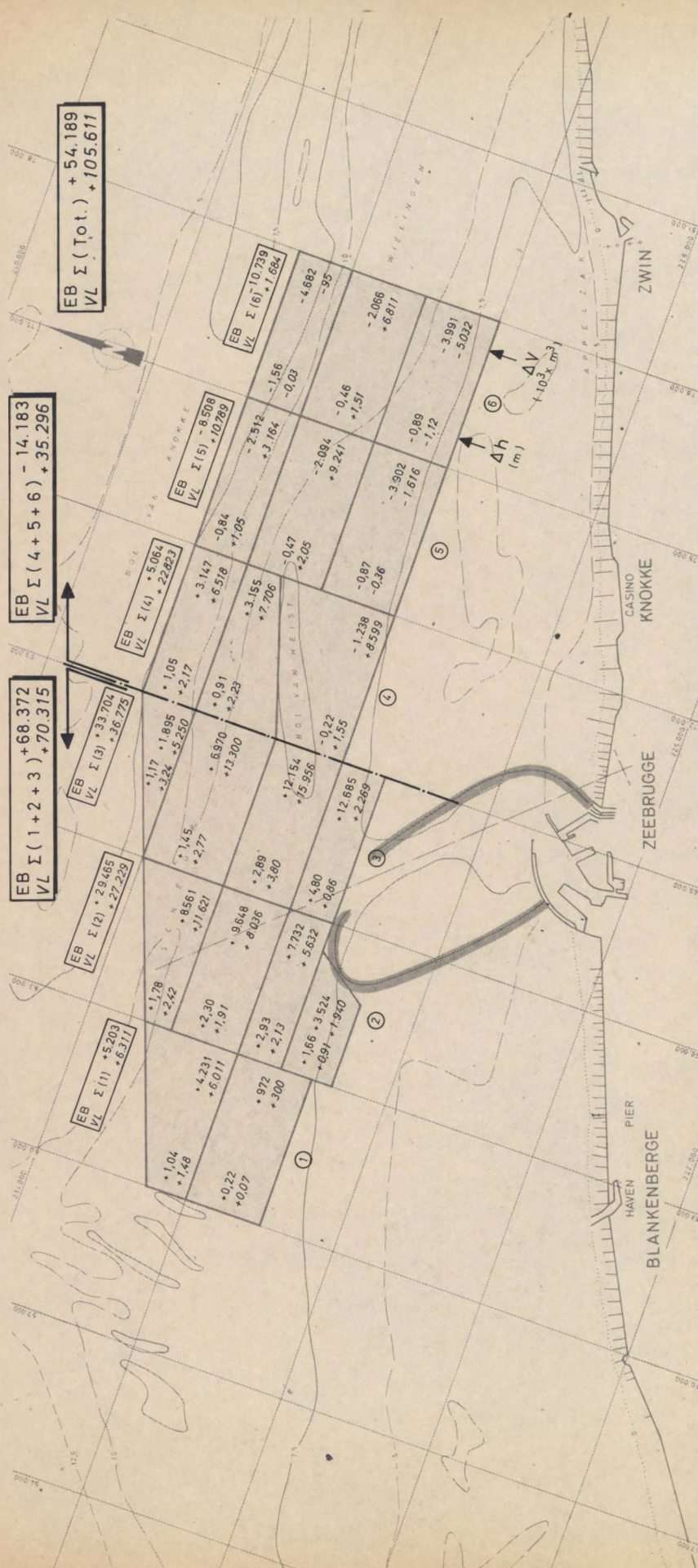
W.L. 74.402



SCHAAL  
0 1 2 3 km

POTENTIEEL MATERIAALTRANSPORT  
T11 t.o.v. T0  
EB ( H.W. + 5 h 30 ) en VLOED ( H.W. - 0 h 40 )

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





SCHAAAL

0 1 2 3 km

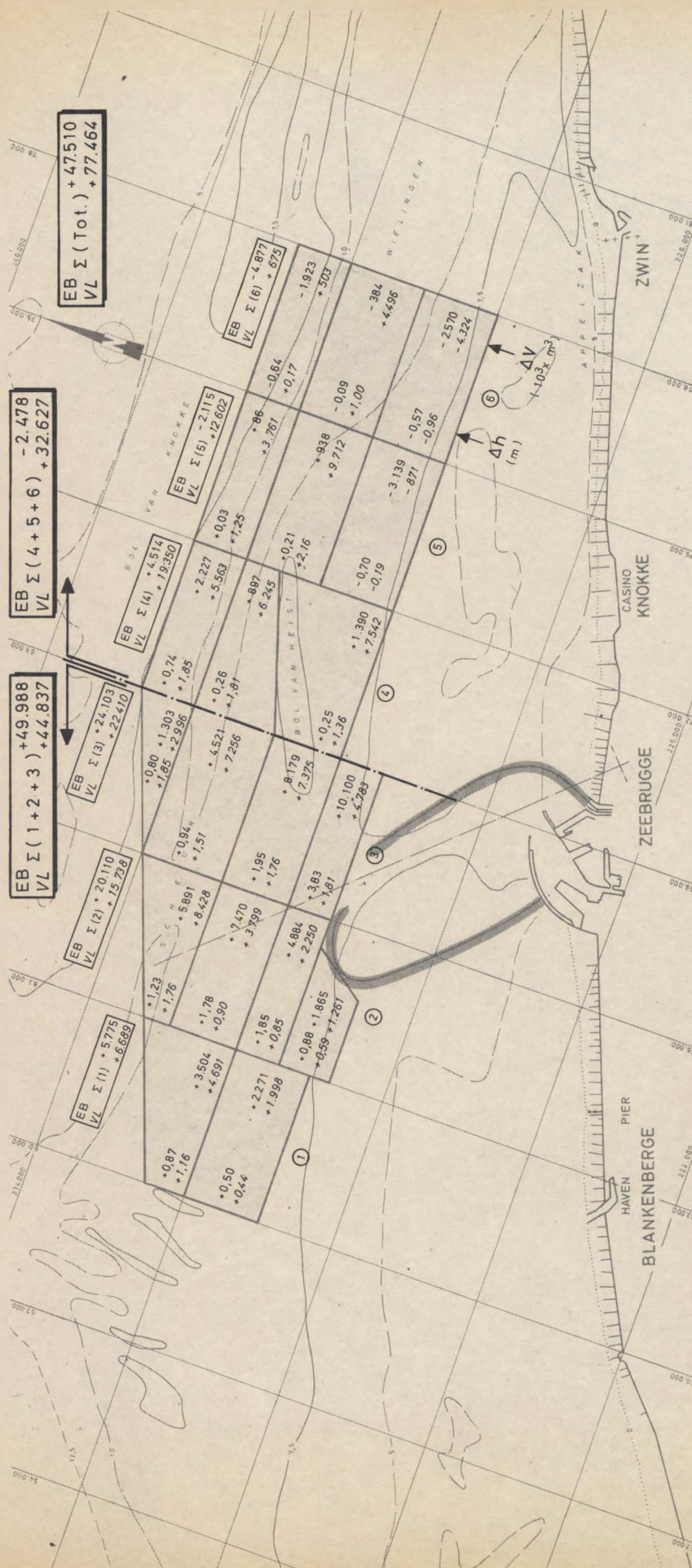
## POTENTIEEL MATERIAALTRANSPORT

T 13 t.o.v. T 0

EB ( H.W. + 5 h 30 ) en VLOED ( H.W. - 0 h 40 )

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak

Lambert projectie



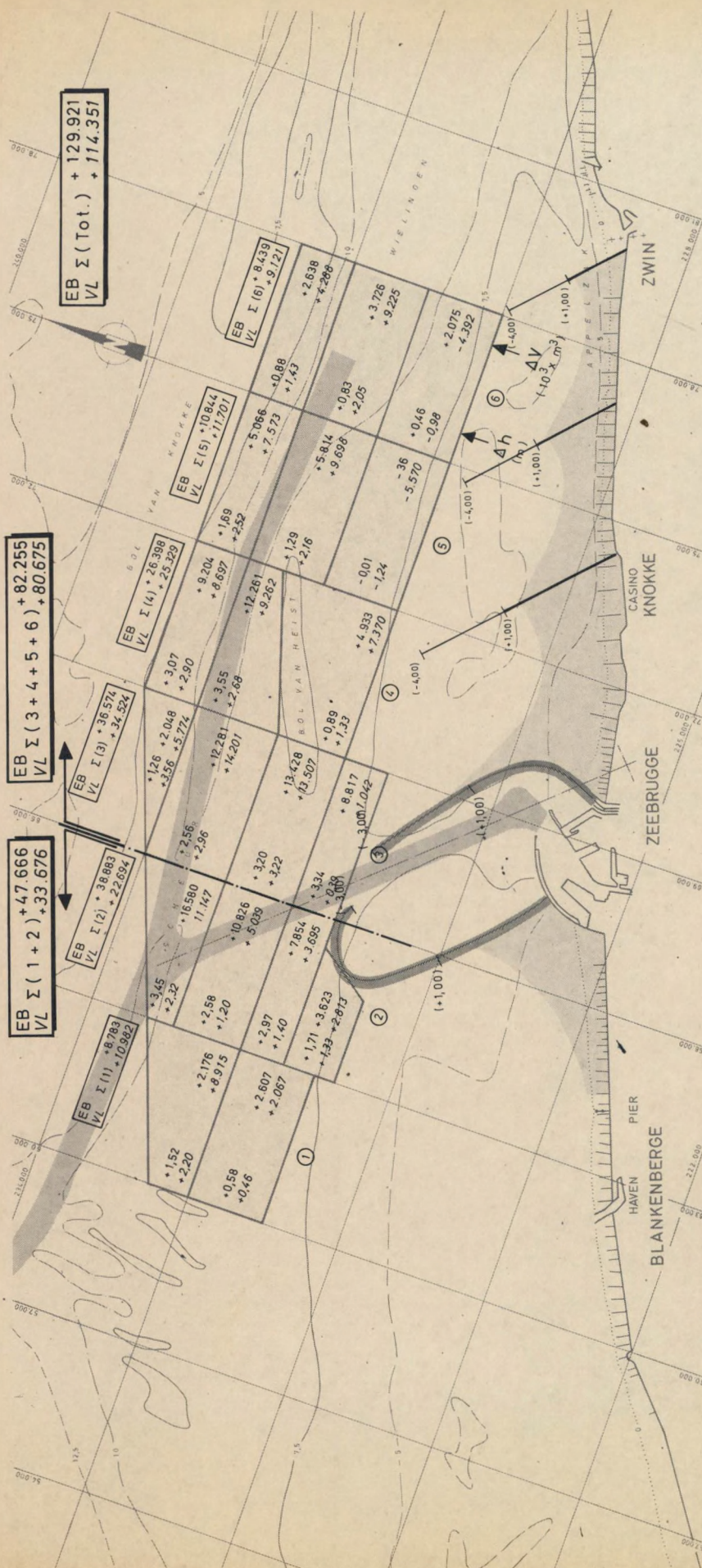




SCHAAL  
0 1 2 3 km

POTENTIEEL MATERIAALTRANSPORT  
120 t.o.v. T0  
EB ( H.W. + 5 h 30 ) en VLOED ( H.W. - 0 h 40 )

Dieptelijnen in m  
t.o.v. Z-vlak  
Lambert projectie





EDITIE:

---

**WATERBOUWKUNDIG LABORATORIUM**

---

BERCHEMLEI 115  
2200 BORGERHOUT  
BELGIE  
TELEFOON 03/36.18.50



